

SÉRIE A, N° 3144

N° D'ORDRE :
4016

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

M. Bernard GUINOT

1^{re} THÈSE. — L'ASTROLABE IMPERSONNEL A. DANJON, MODÈLE O. P. L., DE
L'OBSERVATOIRE DE PARIS. ÉTUDE DES RÉSULTATS D'UNE ANNÉE
D'OBSERVATIONS. VARIATION DE LA LATITUDE. CATALOGUE
D'ÉTOILES.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 4 juin 1958, devant la Commission d'Examen.

M. DANJON

Président.

M. JACQUINOT

M. SCHATZMAN

} *Examineurs*

PARIS

GAUTHIER-VILLARS, ÉDITEUR-IMPRIMEUR-LIBRAIRE

Quai des Grands-Augustins, 55

1958

SÉRIE A, N° 3144

N° D'ORDRE :

4016

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

M. Bernard GUINOT

1^{re} THÈSE. — L'ASTROLABE IMPERSONNEL A. DANJON, MODÈLE O. P. L., DE L'OBSERVATOIRE DE PARIS. ÉTUDE DES RÉSULTATS D'UNE ANNÉE D'OBSERVATIONS. VARIATION DE LA LATITUDE. CATALOGUE D'ÉTOILES.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 4 juin 1958, devant la Commission d'Examen.

M. DANJON

Président.

M. JACQUINOT

M. SCHATZMAN

} *Examineurs.*

PARIS

GAUTHIER-VILLARS, ÉDITEUR-IMPRIMEUR-LIBRAIRE

Quai des Grands-Augustins, 55

1958



FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS.

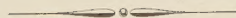
Doyen..... J. PÉRÈS.

PROFESSEURS

G. JULIA.....	T	Analyse supérieure et Algèbre supérieure.	L'HÉRITIER.....	T	Génétique.
FOCH.....	T	Mécanique physique et expérimentale.	GRIVET.....	T	Radioélectricité.
PAUTHENIER.....	T	Electrotechnique générale.	PONCIN.....	T	Mécanique des fluides.
De BROGLIE.....	T	Théories physiques.	DUBREIL.....	T	Arithmétique et théorie des nombres.
PRENANT.....	T	Anatomie et Histologie comparées.	QUELET.....	T	Chimie organique.
GARNIER.....	T	Géométrie supérieure.	CAGNIARD.....	T	Géophysique appliquée.
PÉRÈS.....	T	Mécanique des fluides et application.	CHAMPETIER.....	T	Chimie macromoléculaire.
LAUGIER.....	T	Physiologie générale.	COVILLIER.....	T	Géologie structurale et Géologie appliquée.
M. CURIE.....	T	Physique (P. C. B.)	JUNG.....	T	Pétrographie.
BARRABÉ.....	T	Géologie structurale et Géologie appliquée.	TRILLAT.....	T	Microscopie et diffraction électronique.
G. DARMOIS.....	T	Calcul des probabilités et Physique mathématique.	WIEMANN.....	T	Chimie organique structurale.
BOURCART.....	T	Géographie physique et Géologie dynamique.	JACQUINOT.....	T	Spectroscopie et Physique céleste.
PLANTEFOL.....	T	Botanique.	VASSY.....	T	Physique de l'atmosphère.
GRASSÉ.....	T	Evolution des êtres organisés.	DESTOUCHES.....	T	Théories physiques.
PRÉVOST.....	T	Chimie organique.	M. PRUVOST.....	T	Géologie.
BOULIGAND.....	T	Application de l'Analyse à la Géométrie.	AMIEL.....	T	Chimie (P. C. B.).
CHAUDRON.....	T	Chimie appliquée.	HOGART.....	T	Minéralogie.
WYART.....	T	Minéralogie.	J.-P. MATHEU.....	T	Physique (P. C. B.).
TEISSIER.....	T	Zoologie.	COUTEAUX.....	T	Biologie animale (P. C. B.).
MANGENOT.....	T	Biologie végétale.	MAY.....	T	Biologie animale (P. C. B.).
P. AUGER.....	T	Physique quantique et Relativité.	CHOQUET.....	T	Calcul différentiel et intégral.
MONNIER.....	T	Physiologie des fonctions.	FELDMANN.....	T	Biologie (P. C. B.).
PIVETEAU.....	T	Géologie.	GUINIER.....	T	Physique (P. C. B.).
ROCARD.....	T	Physique (E. N. S.).	JOST.....	T	Biologie (P. C. B.).
H. CARTAN.....	T	Mathématiques (E. N. S.).	FORTET.....	T	Calcul des probabilités.
LAFFITTE.....	T	Chimie générale.	SCHWARTZ.....	T	Méthode mathématiques de la Physique.
FAVARD.....	T	Mécanique générale.	CHOUARD.....	T	Physiologie végétale.
COULOMB.....	T	Physique du Globe.	MALAVARD.....	T	Aviation.
M ^{lle} COUSIN.....	T	Biologie animale (P. C. B.).	BRELOT.....	T	Calcul différentiel.
CHRÉTIEN.....	T	Chimie minérale.	NORMANT.....	T	Chimie (P. C. B.).
P. DRACH.....	T	Zoologie.	BÉNARD.....	T	Chimie (P. C. B.).
KASTLER.....	T	Physique.	BUYAT.....	T	Botanique (E. N. S.).
EPHRUSSI.....	T	Génétique.	DUGUÉ.....	T	Statistiques mathématiques.
WURMSER.....	T	Biologie physicochimique.	GELOSO.....	T	Chimie (S. P. C. N.).
RIVIÈRE.....	T	Géologie (S. P. C. N.).	SOULAIRAC.....	T	Psychophysiologie.
GAUTHÉRET.....	T	Biologie végétale (P. C. B.).	ULRICH.....	T	Physiologie végétale.
LUCAS.....	T	Recherches physiques.	MARÉCHAL.....	T	Optique théorique et appliquée.
A. THOMAS.....	T	Biologie cellulaire.	KIRRMANN.....	T	Théories chimiques.
ARNULF.....	T	Optique appliquée.	CHADEFAUD.....	T	Botanique.
MAX MORAND.....	T	Physique. (enseignement de)	DESTRIAU.....	T	Physique (M. P. C.).
SOLEILLET.....	T	Physique.	M ^{lle} LE BRETON.....	T	Physiologie générale.
FORTIER.....	T	Mécanique expérimentale des fluides.	SALEM.....	T	Mathématiques générales.
DANJON.....	T	Astronomie.	LELONG.....	T	Mathématiques générales.
LAPORTE.....	T	Physique générale et Radioactivité.	DEVILLERS.....	T	Anatomie et Histologie comparées.
JANET.....	T	Mécanique analytique et Mécanique céleste.	EHRESMANN.....	T	Topologie algébrique.
PETIT.....	T	Biologie maritime.	FRANÇON.....	T	Physique (M. P. C.).
QUENEY.....	T	Météorologie et Dynamique atmosphérique.	GLANCEAUD.....	T	Géographie physique et Géologie dynamique.
GALLIEN.....	T	Embryologie.	GODEMENT.....	T	Mathématiques (M. P. C.).
EICHORN.....	T	Biologie végétale (P. C. B.).	PISOT.....	T	Calcul des probabilités.
DE CUGNAC.....	T	Biologie végétale. (P. C. B.).	ROCH. (E.).....	T	Géologie.
M ^{lle} CAUCHOIS.....	T	Chimie physique.	SCHATZMAN.....	T	Astrophysique.
THELLIER.....	T	Physique du Globe.	TERMIER.....	T	Paléontologie stratigraphique.
			ZAMANSKY.....	T	Mathématiques générales.
			JOLYOT.....	T	Physique nucléaire et Radioactivité.
			LENNUIER.....	T	Physique (P. C. B.).
			RIZET.....	T	Génétique.
			M ^{me} TONNELAT.....	T	Théories physiques.

DIXMIER.....	Mathématiques (M. P. C.).	LEDERER.....	T	Chimie biologique.
SOUGHAY.....	Chimie (P. C. B.).	M ^{me} DUBREIL.....	T	Mathématiques.
AIGRAIN.....	Physique (P. C. B.).	M ^{me} LULONG.....	T	Mathématiques (E. N. S.).
BRUSSET.....	Chimie (P. C. B.).	BELLAIR.....		Géologie (S. P. C. N.).
M. LÉVY.....	Physique théorique.	COTTE.....	T	Physique (M. P. C.).
LENORMANT.....	Physiologie.	J. DUBOIS.....		Chimie.
M ^{me} CHAIX.....	Chimie biologique.	LAMOTTE.....	T	Zoologie.
M ^{me} HUREL-PY..	Biologie végétale (P. C. B.).	MICHEL.....	T	Chimie (P. C. B.).
PIAUX.....	Chimie (P. C. B.).	OLMER.....	T	Énergétique générale.
BRUN.....	Mécanique expérimentale des fluides.	ROUAULT.....	T	Physique (S. P. N. C.).
		GAUTHIER.....	T	Mécanique appliquée.

Secrétaire général..... CH. MONIER.





Digitized by the Internet Archive
in 2026

PREMIÈRE THÈSE.

L'ASTROLABE IMPERSONNEL A. DANJON, MODÈLE O. P. L. DE L'OBSERVATOIRE DE PARIS. ÉTUDE DES RÉSULTATS D'UNE ANNÉE D'OBSERVATIONS. VARIATION DE LA LATITUDE. CATALOGUE D'ÉTOILES

SOMMAIRE. — Organisation des observations. Étude des erreurs systématiques des résultats : erreurs systématiques d'observation, erreurs introduites dans la réduction, erreurs dues au catalogue d'étoiles. Variation de la latitude instantanée de l'astrolabe. Établissement d'un catalogue d'étoiles « astrolabe »; les erreurs systématiques du FK 3.

ABSTRACT. — Observations organizing. Study of the systematic errors in the results : systematic observing errors, errors in the reducing method, error coming from the catalog of stars. Variation of latitude of the astrolabe. An "astrolabe" catalog of stars; the systematic errors of the FK 3.

ZUSAMMENFASSUNG. — Organisation der Beobachtungen. Untersuchung der systematischen Fehler in den Resultaten : systematische Beobachtungsfehler; in die Berechnungen eingeführte Fehler; aus den Sternkatalogen herstammende Fehler. Veränderung der augenblicklichen Breite des Astrolabiums. Aufstellung eines « Astrolabium »-Sternkataloges; die systematischen Fehler des FK 3.

РЕЗЮМЕ. — Организация наблюдений. Исследование систематических ошибок результатов : систематические ошибки наблюдений, ошибки вводимые при приведении на видимое место, ошибки происходящие от каталога звезд. Изменение мгновенной широты астролябии. Каталог звезд «астролябия»; систематические ошибки FK 3.

INTRODUCTION.

La méthode d'observations de hauteurs égales d'étoiles, donnée par Gauss, devait permettre de tirer le meilleur parti possible du sextant, pour la mesure de la latitude et de la longitude (ou de l'heure). Mais la nécessité d'avoir un instrument spécialement adapté à cette méthode s'est fait sentir et elle a conduit Claude et Driencourt à concevoir, au début de notre siècle, l'astrolabe à prisme ([1] à [3]). Cet instrument, qui était destiné aux observations de campagne, devait rester simple et aisément transportable. Cependant, ses qualités remarquables auraient permis des mesures de haute précision, utiles dans les observatoires pour la détermination de l'heure et l'étude de la variation de la latitude, si deux inconvénients ne s'étaient manifestés : l'astrolabe ne permettait qu'un seul pointé par étoile, ce pointé étant affecté d'une erreur personnelle, et la hauteur d'observation variait au cours de la nuit, par suite des déplacements du plan focal et des variations de l'accommodation de l'œil de l'observateur ⁽¹⁾.

Dès 1938, M. Danjon s'est attaché à perfectionner l'astrolabe à prisme : il a imaginé un appareil unique, faisant appel aux propriétés des prismes biréfringents de Wollaston, qui supprime les erreurs dues à la mise au point et constitue un micromètre impersonnel. On trouvera le principe de ce micromètre dans le *Bulletin Astronomique* [4].

Après avoir fait les premiers essais de son micromètre en Haute-Provence, en 1947, sur un astrolabe Jobin modifié, [5] et [6], M. Danjon a fait construire un astrolabe impersonnel par les ateliers de l'Observatoire de Paris. Cet instrument, réalisé par M. Texereau, ingénieur au Laboratoire d'Optique de l'Observatoire, a été achevé en 1951. Après divers perfectionnements, il est entré en service régulier en 1953. Nous renvoyons encore le lecteur au *Bulletin Astronomique* [4] où se trouve la description complète de l'instrument.

Les résultats obtenus furent excellents [7]. L'écart-type d'une observation isolée était de $0'',24$ et les écarts-types sur les mesures de temps et de latitude de $0'',009$ et $0'',10$. Il apparut cependant que des résultats meilleurs pouvaient être obtenus en réalisant un instrument plus grand et d'une précision mécanique plus poussée. De plus, comme il se révélait que l'astrolabe impersonnel A. Danjon était tout à fait adapté aux mesures de temps et de latitude qui devaient être entreprises au début de l'Année Géophysique Internationale, des demandes d'astrolabes affluèrent, que seule l'industrie pouvait satisfaire. La Société « Optique et Précision de Levallois » s'est chargée de l'étude d'un modèle

(1) A. DANJON, *Bull. Astron.*, t. 18, 1954, p. 255.

commercial de l'astrolabe impersonnel et de la construction d'une série de ces instruments qui ont bénéficié de tous les perfectionnements souhaitables.

Le premier des astrolabes O. P. L. (*pl. I*, face à la page 16), désigné par le numéro 01, a été livré à l'Observatoire de Paris en avril 1956. Les observations régulières ont commencé en juillet 1956. L'objet du présent Mémoire est de montrer la qualité des observations et de donner quelques résultats obtenus. Un intérêt particulier provient du fait que ces résultats ont été acquis en moins d'un an et demi d'observations : c'est là la durée prévue pour les observations de l'Année Géophysique Internationale et l'on aura un aperçu de ce qu'on peut en attendre.

Le lecteur trouvera la description complète de l'astrolabe O. P. L. dans le *Bulletin Astronomique* [8].

CHAPITRE I.

L'ORGANISATION DES OBSERVATIONS.

L'usage de l'astrolabe impersonnel ne nécessite pas de catalogue d'étoiles spécial. Les étoiles observées sont choisies parmi celles du catalogue d'étoiles FK 3. Cependant, les observations faites à l'aide du petit astrolabe avaient déjà montré que les résultats bruts obtenus en partant des positions du catalogue ne pouvaient pas être utilisés : les valeurs des inconnues différaient systématiquement suivant les groupes d'étoiles observés. Cela était dû, tant aux erreurs systématiques, qu'aux erreurs individuelles des positions des étoiles, comme on pouvait s'en assurer après quelques observations des mêmes étoiles. Par exemple, les valeurs de la latitude données par deux groupes d'étoiles observés la même nuit pouvaient différer de $0'',30$.

La qualité des résultats, toutes choses étant égales d'ailleurs, dépend étroitement du choix d'un programme d'observations et de la rigueur avec laquelle ce programme est suivi.

L'organisation des observations, qui a été adoptée pour l'astrolabe O. P. L. de l'Observatoire de Paris, est celle qui a été préconisée dans le manuel d'instructions publié par le C.S.A.G.I. [9]. On a formé des groupes d'étoiles de composition invariable; le même observateur observe deux groupes consécutifs, au moins, au milieu de chaque nuit.

Il est naturel d'observer toujours les mêmes groupes d'étoiles pour s'affranchir des erreurs du catalogue. Il en résulte que chaque groupe donne des résultats différents pour chacune des inconnues à mesurer et que ces différences doivent être connues pour l'exploitation des résultats. Lorsqu'on avait voulu interpréter les résultats du petit astrolabe, des difficultés s'étaient élevées, dues à l'impossibilité de séparer les diffé-

rences entre groupes d'éventuelles erreurs personnelles et d'effets de réfraction latérale. C'est pour séparer ces effets qu'on a décidé que la même personne observerait deux groupes consécutifs : la différence des résultats donne le raccordement des deux groupes sans erreurs personnelles. On ne tient compte, pour effectuer le raccordement final de tous les groupes, que de ces différences ainsi obtenues, la même nuit, par le même observateur. En n'utilisant que les observations de la même nuit, on réduit les erreurs qui seraient dues aux variations des grandeurs à mesurer, variations qui peuvent être réelles, comme la marche de l'horloge ou la variation de la latitude, ou fictives, comme celles qui seraient dues à une évolution lente de la réfraction.

Une fois le raccordement des groupes effectué, on en déduit des corrections, que nous appellerons corrections de raccordement. Il faut ajouter ces corrections aux résultats de chaque groupe pour les rendre comparables entre eux. On peut alors étudier les grandeurs mesurées et il est facile de mettre en évidence les erreurs personnelles si elles existent.

Quant à la symétrie par rapport à minuit, elle a deux raisons d'être. La première, comme on le verra plus loin, est de permettre de déduire du raccordement en latitude une valeur de la constante de l'aberration, sans que cette valeur soit affectée par les parallaxes qu'on a négligées pour la plupart des étoiles. La deuxième raison est d'éviter d'observer à trop peu de temps du coucher ou du lever du Soleil. *A priori*, il semble dangereux, du point de vue des effets personnels, d'observer quand le ciel apparaît lumineux dans le champ; d'autre part, les rapides variations de température au crépuscule peuvent occasionner des réfractions accidentelles. Notons encore un avantage secondaire, mais réel, des observations du milieu de la nuit par rapport à celles qui seraient faites le soir : si deux groupes se sont trouvés mal raccordés, par suite du mauvais temps, on dispose encore d'une longue période pour faire les raccordements supplémentaires en continuant à observer le premier groupe quand on aurait dû l'abandonner.

Les groupes à observer sont au nombre de 12. Chaque groupe, dont la durée d'observation est une heure et demie, est séparé du suivant par un intervalle d'une demi-heure. L'heure sidérale de l'observation du milieu des groupes est paire.

Les groupes contiennent 28 étoiles du FK 3 et du FK 3 Supp, de magnitude généralement inférieure à 5,6. Quelques étoiles de magnitude comprise entre 5,6 et 6,0 ont été introduites lorsqu'il était impossible de faire autrement; elles nous seront utiles dans la recherche d'une équation de magnitude. Le choix des étoiles offert par les deux catalogues était assez riche pour laisser maître, dans une large mesure, de se fixer la répartition dans les groupes. On s'est efforcé d'obtenir une accumulation d'étoiles dans les azimuts à 45° du méridien, pour éviter les inconvénients des étoiles circumméridiennes : rareté, durée d'obser-

vation trop longue, grande variation du temps du passage, due à la précession.

Les caractéristiques de l'astrolabe apportent d'ailleurs quelques restrictions au choix des étoiles. A la latitude de Paris, le mouvement azimutal des étoiles ne permet pas d'observer à moins de 20° du méridien au Sud et, au Nord, on ne peut guère s'approcher à moins de 7° du méridien à cause de la trop grande durée du passage et cela malgré la présence sur l'astrolabe de deux distributeurs des contacts. Ces deux distributeurs sont tels que dans tous les cas on enregistre 24 inscriptions sur le chronographe, mais il y a deux durées d'enregistrement possibles; dans le premier vertical, l'observation dure 26 s avec le distributeur à grande course et 13 s avec le distributeur à petite course. Le distributeur à petite course doit être utilisé pour les étoiles à moins de 35° du méridien au Sud et à moins de 15° du méridien au Nord. Le choix des étoiles aux azimuts de 45° permet de ne l'utiliser qu'exceptionnellement (trois ou quatre fois par groupe).

On a évité, autant que possible, d'avoir recours aux étoiles du FK 3 Supp : les positions et les mouvements propres de ce catalogue sont moins bien connus que ceux du FK 3. Les étoiles du FK 3 Supp sont également réparties en azimut de sorte qu'un groupe reste équilibré si on les supprime.

La même étoile peut être observée deux fois dans la nuit avec l'astrolabe : à ses passages Est et Ouest. Les deux passages, qui peuvent se trouver séparés par un intervalle de temps de plus de 6 h, appartiennent en général à deux groupes différents. Il était souhaitable d'introduire le plus grand nombre possible de ces doubles passages dans le programme d'observations, afin d'étudier le catalogue; mais les différentes conditions à réaliser en ont réduit le nombre à 116 (58 étoiles). Au total, le nombre d'étoiles observées est de 282 dont 68 du FK 3 Supp et le nombre des passages observés pour les 12 groupes est de 340 (deux groupes comprennent 30 étoiles, un, 29 et un, 27 seulement).

Comme les observations entreprises à Paris devront être poursuivies longtemps, on a choisi les étoiles pour que les groupes puissent être observés sans changement pendant quarante ans. Il a fallu, pour cela, tenir compte de la précession qui modifie l'intervalle de temps qui sépare deux passages. Notons que pour les groupes de 6 h et 18 h sidérales, les intervalles de temps entre les passages restent pratiquement invariables : on s'assurera sans peine que, quel que soit l'azimut, la variation annuelle du temps sidéral du passage est

$$m + n \operatorname{tg} \varphi \quad \text{à } 6 \text{ h} \quad \text{et} \quad m - n \operatorname{tg} \varphi \quad \text{à } 18 \text{ h},$$

m étant la précession en ascension droite et n la précession en déclinaison. Cette variation, qui est identique à celle d'une étoile zénithale, est de $+4^{\text{s}},60$ à 6 h et $+1^{\text{s}},54$ à 18 h, à Paris.

Enfin, pour en finir avec la composition des groupes, signalons que Z étant l'azimut, le rapport $\frac{\sum \cos^2 Z}{\sum \sin^2 Z}$, pour chaque groupe, est voisin de 0,8. Il est nettement plus grand que pour les groupes observés avec le petit astrolabe, ce qui améliore la mesure de la latitude. On trouvera plus loin (tableau VII) la composition des 12 groupes.

En principe, deux groupes consécutifs sont observés chaque nuit de sorte que les milieux de chacun tombent l'un avant minuit vrai, l'autre après. Ainsi, chaque année, une paire de groupes est suivie pendant un mois et un groupe pendant deux mois. Le programme de la nuit change quand le groupe du matin est observé avant minuit, le groupe du soir est alors abandonné, le groupe du matin devient groupe du soir et l'on observe un nouveau groupe du matin. La date du changement de programme est environ le 21 de chaque mois. En fait, si l'on s'en était tenu à ce programme, on n'aurait obtenu qu'un très petit nombre de mesures de certaines paires de groupes et le raccordement entre les groupes, qui ne se fait qu'à l'aide des observations de la même nuit et du même observateur, n'aurait eu qu'une faible valeur. On s'est fixé à 10, au moins, le nombre annuel d'observations des paires de groupes. Cela a conduit les observateurs à observer, pendant la majeure partie de l'année, un troisième groupe. Jusqu'à présent, les dix différences annuelles ont toujours été obtenues, sauf pour les groupes i et j , observés les premiers, après la mise en station de l'instrument.

Depuis la mise en service de l'astrolabe O. P. L., MM. Arbey et Guinot ont observé régulièrement le programme avec éventuellement le troisième groupe nécessaire. M. Billaud et M^{lle} Débarbat les ont remplacés pendant les périodes de vacances. Pendant l'hiver, M^{lle} Débarbat a observé des paires de groupes supplémentaires avant ou après les observations du programme. On a adjoint M^{lle} Libralon aux observations à partir de juillet 1957. Plusieurs observateurs français et étrangers, qui devaient participer à l'Année Géophysique Internationale, sont venus s'entraîner sur l'instrument; ils ont observé des groupes isolés qui ont été parfois utilisés. Les observations n'ont subi aucune interruption.

CHAPITRE II.

RÉDUCTION DES OBSERVATIONS.

Les réductions sont faites suivant la méthode déjà utilisée pour le petit astrolabe [7] ⁽²⁾. On établit à l'avance des éphémérides qui donnent

(2) On a relevé les erreurs suivantes :

Page 284, 4^e ligne en remontant, *remplacer* (1) par (3).

le temps sidéral du passage par l'almucantarât de 30° de distance zénithale ($30^{\circ} 00' 30''$ exactement, car on a tenu compte de $30''$ de réfraction), pour la latitude approchée de l'observatoire. Ces éphémérides permettent d'obtenir rapidement la différence δh entre la distance zénithale réelle d'observation et la distance zénithale calculée à l'aide des valeurs approchées de la latitude et de la correction de l'horloge. δh est corrigé des termes dus aux courbures du parallèle de l'étoile et de l'almucantarât. Les équations de condition qui lient les corrections à apporter aux valeurs approchées des inconnues à δh sont résolues par la méthode des moindres carrés, ce qui se justifie, comme on le verra plus loin.

Les positions des étoiles sont celles des catalogues FK 3 et FK 3 Supp. Les éphémérides des étoiles FK 3 sont calculées à partir des *Apparent Places of Fundamental Stars* (A. P. F. S.), mais on a introduit les corrections de parallaxes pour les étoiles dont les parallaxes sont comprises entre $0'',05$ et $0'',10$. Ces corrections ont été prises dans la *Connaissance des Temps*.

Le catalogue FK 3 Supp ne donne que les positions moyennes. Le calcul des positions apparentes se fait à l'aide des constantes pour la réduction des étoiles de la *Connaissance des Temps*. On fait usage des formules de Bessel. Pour simplifier le travail, on calcule α et δ pour 0^h T. U., puis le temps sidéral du passage pour un observateur de longitude telle qu'il observerait le passage à 0^h T. U. On interpole ensuite pour obtenir le temps de passage à Paris.

A titre de vérification, quelques valeurs de l'éphéméride de chaque étoile sont recalculées indépendamment. Les autres valeurs sont vérifiées par l'examen des différences secondes.

On sait qu'il a été décidé que, à partir de 1960,0, les A. P. F. S. seraient calculés en utilisant une expression plus complète de la nutation [10] et en tenant compte, pour le calcul de l'aberration du mouvement du Soleil autour du centre de gravité du système solaire, ainsi que du mouvement de la Lune ([11] et [12]). De plus, toutes les parallaxes supérieures à $0'',010$, tirées du catalogue de Miss Jenkins [13] seront introduites. Pour avoir des résultats homogènes, toutes les réductions des observations comprises entre juillet 1956 et janvier 1960 seront reprises. Le travail nous sera grandement facilité par l'obligeance du Professeur Fricke, Directeur de l'Astronomisches Rechen-Institut de

Page 284 3^e ligne en remontant, après « droite », ajouter « ...parallèle à une droite... ».

» 287, tableau I, différence par seconde, lire $+ 0^s, 1104$.

» 289, tableau II, θ Cygni, différences premières, lire $- 202$.

» 291, ligne 7, au lieu de croît, lire décroît.

» 293, formule (4), supprimer $\cot g z$ dans le terme en y^2 . (Voir Erratum, *Bull. Astron.*, t. XXI, fasc. 2.)

Heidelberg, qui a entrepris de faire calculer par son établissement les éphémérides des étoiles de notre programme, de 1956 à 1960, sur les mêmes bases que celles des A. P. F. S. après 1960. Dès que le nouveau catalogue fondamental FK 4 sera prêt, toutes nos réductions seront ramenées uniformément à lui.

Les réductions sont vérifiées par sommation des colonnes, chaque fois que cela se peut. Les parties du calcul qui échappent à ce contrôle sont faites en double par deux calculateurs différents. Un programme de réduction sur calculateur électronique a été mis au point, mais la nécessité d'avoir les résultats dans la journée qui suit les observations a empêché sa mise en œuvre.

Les instants des passages sont enregistrés sur un chronographe imprimant au millième de seconde de Belin. Les moyennes sont faites deux fois. Le chronographe est piloté par une horloge à quartz de temps moyen.

CHAPITRE III.

ÉTUDE DE L'ACCORD INTERNE DES GROUPES.

Généralités. — Avant d'étudier le raccordement des groupes entre eux, nous allons passer en revue les résultats auxquels conduisent les groupes pris isolément.

Les 28 étoiles observées fournissent des équations surabondantes pour calculer les trois inconnues à déterminer par l'observation astronomique : temps, latitude, distance zénithale apparente réelle d'observation. La solution est ajustée par la méthode des moindres carrés et chaque étoile laisse apparaître un résidu. La théorie de la réduction étant supposée exacte, ainsi que les valeurs numériques des constantes qu'elle fait intervenir, ce résidu est dû, soit aux erreurs d'observation, soit aux erreurs dans les positions moyennes des étoiles du catalogue. Lorsqu'on a observé plusieurs fois le même groupe, on étudie les résidus de la même étoile : on reproduit (tableau I) les résidus d'un groupe en 1957. On peut calculer, pour chaque étoile, le résidu moyen et son écart-type, ainsi que l'écart-type d'un résidu pris isolément. On verra, par la suite, que l'écart-type du résidu moyen s'abaisse à $0'',04$ après un an d'observations; la plupart des résidus moyens sont significatifs. L'étude des paragraphes suivants va nous permettre de décider s'ils représentent des erreurs systématiques d'observation ou des erreurs de catalogue.

Étude des résidus en fonction de la magnitude, du type spectral, de l'azimut. — On reprend le travail déjà fait au sujet du petit astrolabe : on range les résidus moyens et l'écart-type d'un résidu isolé par

TABEAU I.

Tableau des résidus du groupe h en 1957.
(Temps sidéral : 14 h; Unité 0,01.)

Date. 1957.	N° N° FK 3 (*) Observ.	1. 412.	2. 608.	3. 576.	4. 619.	5. 466.	6. 627.	7. 1396.	8. 17225.	9. 22172.	10. 16752.
III	22.....	12	+ 03	+ 11	+ 03	+ 10	+ 08	- 29	+ 07	+ 45	- 12
	23.....	13	+ 03	+ 10	+ 20	+ 52	+ 17	- 28	- 17	+ 17	- 29
	30.....	20	+ 12	- 17	- 09	+ 12	+ 18	- 18	+ 50	+ 11	19
	31.....	13	- 10	- 06	+ 24	+ 32	+ 15	- 16	- 12	+ 07	+ 04
IV	2.....	-	- 17	- 17	- 08	-	+ 15	- 31	+ 15	+ 19	- 23
	5.....	02	- 03	+ 10	+ 07	+ 08	+ 18	- 33	+ 16	+ 08	- 22
	9.....	26	- 03	+ 05	+ 11	+ 46	+ 11	- 35	+ 05	+ 17	- 07
	12.....	01	- 27	+ 06	+ 18	+ 20	- 04	- 25	+ 15	+ 62	- 43
	15.....	13	+ 03	- 28	- 08	+ 36	+ 13	- 16	+ 03	+ 16	- 19
	17.....	53	- 46	- 23	- 02	+ 44	- 01	- 49	+ 18	+ 02	- 20
V	1.....	33	- 11	- 07	- 05	+ 27	+ 09	- 13	+ 14	+ 40	- 15
	3.....	08	+ 03	+ 15	+ 23	+ 44	+ 04	- 12	+ 03	+ 16	- 24
	6.....	06	- 15	+ 01	- 12	+ 01	- 06	- 21	+ 06	+ 48	- 12
	11.....	01	- 23	- 12	+ 19	00	- 08	- 21	- 04	+ 31	- 27
	19.....	30	- 26	- 22	+ 07	+ 20	+ 04	- 16	+ 18	+ 31	- 42
	21.....	37	- 19	- 05	- 13	+ 05	- 04	+ 02	+ 15	+ 43	- 01
	22.....	56	- 64	- 03	+ 18	+ 28	00	- 23	+ 01	+ 31	- 14
	28.....	24	-	-	-	-	- 04	- 29	- 02	+ 07	- 18
	29.....	52	- 35	- 20	- 24	+ 46	+ 05	- 11	+ 21	+ 07	- 45
	30.....	02	- 53	- 24	+ 06	+ 13	+ 04	- 54	- 10	+ 43	- 19
	31.....	41	- 20	- 24	+ 14	+ 16	- 32	- 05	- 02	+ 21	- 12
	Moyenne.....	21,2	- 17,4	- 07,5	+ 04,5	+ 24,2	+ 03,9	- 23,0	+ 07,6	+ 24,9	- 20,0

(*) Les étoiles du FK 3 Supp sont désignées par leur numéro GC (5 chiffres).

TABLEAU I (*suite*).

Date. 1937.	N°..... N° FK 3 (')... Observ.	11. 403.	12. 578.	13. 398.	14. 16 051.	15. 639.	16. 21 334.	17. 1 318.	18. 420.	19. 612.	20. 22 020.
III											
22.....	A	- 16	+ 05	- 24	+ 19	- 28	- 11	+ 22	+ 13	+ 29	+ 17
23.....	G	- 12	+ 06	- 26	+ 09	- 22	- 22	+ 18	+ 08	+ 15	+ 30
30.....	A	- 17	-	-	- 02	- 18	+ 15	+ 28	00	+ 31	+ 25
31.....	G	- 29	+ 04	- 14	+ 05	- 19	- 06	+ 14	+ 11	+ 34	+ 29
IV											
2.....	D	- 40	+ 04	- 38	+ 33	- 01	00	+ 27	- 11	+ 43	+ 04
3.....	A	- 23	+ 08	- 08	+ 23	- 06	- 19	+ 03	+ 63	+ 22	+ 37
9.....	A	- 21	+ 07	+ 18	+ 12	- 22	+ 08	+ 18	+ 14	+ 12	+ 38
12.....	G	- 37	- 07	+ 14	+ 06	- 27	+ 13	+ 16	+ 29	+ 36	+ 30
15.....	A	- 15	- 09	+ 02	+ 04	- 30	+ 06	+ 12	- 07	+ 26	+ 26
17.....	A	- 34	+ 34	+ 07	+ 07	+ 31	+ 19	+ 36	+ 03	+ 33	+ 19
V											
1.....	G	- 34	+ 09	- 22	- 07	- 25	-	+ 15	+ 25	+ 09	+ 32
3.....	G	- 26	+ 17	- 13	- 06	- 26	- 10	- 14	- 04	+ 21	+ 24
4.....	A	- 21	+ 02	+ 29	+ 09	- 15	+ 29	+ 38	- 08	+ 16	+ 22
11.....	G	- 23	+ 03	- 03	+ 15	- 22	+ 33	+ 22	+ 24	+ 37	+ 25
19.....	G	- 24	+ 11	+ 08	+ 17	- 23	- 10	+ 31	+ 49	+ 21	+ 26
21.....	G	00	+ 03	+ 11	- 12	- 23	+ 17	+ 24	+ 13	+ 42	+ 15
22.....	A	- 24	+ 30	- 12	+ 10	+ 17	- 18	+ 38	+ 33	+ 21	+ 34
28.....	A	- 22	+ 14	- 16	+ 32	- 13	- 02	+ 23	+ 26	+ 31	+ 13
29.....	D	- 43	+ 09	+ 08	- 13	- 15	+ 14	+ 26	+ 12	+ 36	+ 43
30.....	A	- 34	+ 34	- 09	+ 08	- 11	+ 11	+ 28	- 36	+ 21	+ 14
31.....	D	- 32	+ 25	+ 15	- 10	+ 18	- 01	+ 14	+ 21	+ 38	+ 17
Moyenne.....		- 24,6	+ 10,5	- 03,7	+ 07,6	- 13,3	+ 03,0	+ 20,9	+ 18,8	+ 27,3	+ 24,8

(') Les étoiles du FK 3 Supp sont désignées par leur numéro GC (5 chiffres).

TABLEAU I (*fin*).

Date. 1957.	N° N° FK 3 (*) Observ.	21. 416.	22. 653.	23. 23 172.	24. 590.	25. 433.	26. 429.	27. 1 332.	28. 21 552.	29. 15 875.
III	22..... A	- 07	- 18	- 04	+ 06	+ 02	+ 07	+ 05	- 37	- 41
	23..... G	+ 01	- 08	- 31	+ 13	- 05	-	+ 10	- 20	-
	30..... A	+ 11	- 02	- 56	+ 27	00	+ 07	- 29	- 14	- 23
	31..... G	- 07	- 08	- 37	+ 12	- 09	+ 26	- 20	+ 01	- 19
IV	2..... D	- 02	00	- 06	+ 20	- 07	-	-	- 01	+ 03
	5..... A	+ 23	+ 02	- 17	+ 08	- 24	- 20	- 24	- 10	- 38
	9..... A	00	- 10	- 35	+ 21	- 11	- 14	- 45	- 29	+ 02
	12..... G	- 17	- 19	- 39	+ 14	00	- 20	- 02	- 21	- 15
	15..... A	+ 16	+ 44	- 37	+ 12	- 04	- 16	+ 08	- 07	- 05
	17..... A	+ 30	+ 22	- 26	- 02	+ 24	- 23	- 16	- 04	- 26
V	1..... G	+ 13	- 09	- 25	+ 11	+ 01	+ 50	- 07	- 32	- 14
	3..... G	- 11	- 07	- 51	+ 09	- 07	-	-	- 12	+ 53
	4..... A	+ 04	+ 05	- 45	+ 17	+ 22	- 21	- 19	- 38	- 26
	11..... G	- 10	- 05	- 28	+ 03	- 01	+ 07	- 06	- 12	- 28
	19..... G	- 19	+ 02	- 27	+ 24	+ 15	- 08	- 17	+ 12	- 19
	21..... G	- 13	- 16	- 21	+ 09	+ 02	+ 08	- 01	- 21	- 10
	22..... A	+ 30	+ 09	- 30	+ 13	- 07	- 08	- 18	- 12	- 20
	28..... A	- 03	+ 11	- 29	+ 16	- 11	+ 05	- 04	+ 08	- 15
	29..... D	+ 17	+ 08	- 27	+ 35	-	+ 26	+ 03	- 11	- 13
	30..... A	- 10	+ 15	- 17	+ 16	+ 02	+ 01	- 15	+ 18	- 01
	31..... D	- 02	- 17	- 37	+ 24	- 14	+ 32	+ 21	+ 22	- 41
	Moyenne.....	+ 02, 1	00, 0	- 29, 8	+ 14, 7	- 01, 6	+ 02, 2	- 09, 3	- 10, 5	- 14, 8

(*) Les étoiles du FK 3 Supp sont désignées par leur numéro GC (5 chiffres).

classes de magnitude, de type spectral et d'azimut. On calcule les valeurs moyennes par classe avec leurs écarts-types. Les conclusions sont les suivantes :

a. Magnitude. — Toutes les étoiles sont comprises dans les quatre premières classes du tableau II, mais on a formé une classe supplémentaire d'étoiles faibles. Seule la moyenne pour les étoiles brillantes, de magnitude comprise entre 2,1 et 3,0, est significative ($-0'',061 \pm 0'',027$), mais il convient de noter qu'elle est du signe opposé à celui de la moyenne qui avait été obtenue pour le petit astrolabe. La petitesse de l'équation de magnitude que laisse apparaître le tableau II ne permet pas de savoir s'il s'agit d'un effet instrumental ou d'un effet de catalogue, mais, même si cette équation de magnitude doit être imputée à l'instrument, il n'y a pas lieu de chercher à atténuer l'éclat des images brillantes par un dispositif qui pourrait nuire aux qualités optiques de l'astrolabe; mieux vaudrait, à la rigueur, s'abstenir d'inclure des étoiles brillantes dans le programme. A Paris, d'autres étoiles brillantes destinées à l'étude de cet effet, seront observées, hors programme.

TABLEAU II.

Corrélation des résidus et des écarts-types avec la magnitude.

Magnitude.	Moyenne des résidus en $0'',01$.	Moyenne des écarts-types en $0'',01$.
2,1 à 3,0.....	$-6,1 \pm 2,7$	$15,8 \pm 0,8$
3,1 à 4,0.....	$+2,1 \pm 1,9$	$17,9 \pm 0,6$
4,1 à 5,0.....	$0,0 \pm 1,3$	$17,2 \pm 0,4$
5,1 à 6,0.....	$+0,2 \pm 1,8$	$17,3 \pm 0,5$
5,6 à 6,0.....	$+3,0 \pm 5,0$	$19,0 \pm 1,4$

On constate, d'après les écarts-types des résidus isolés, que la qualité des observations diminue un peu quand la magnitude croît. On pouvait s'attendre à ce résultat, car dès que le ciel devient brumeux ou voilé, les étoiles faibles sont les premières à en pâtir.

b. Type spectral. — Le tableau III montre que les résidus ne dépendent pas du type spectral. De plus les étoiles des divers types spectraux sont observées avec une précision sensiblement constante. Remarquons toutefois que, comme pour le petit astrolabe, les étoiles de la classe G semblent un peu mieux observées.

c. Azimut. — On pouvait constater sur les résultats du petit astrolabe que les résidus des étoiles observées dans le Nord-Ouest avaient tendance à être négatifs, tandis que ceux des étoiles du Nord-Est étaient positifs ⁽³⁾. Par la suite, cette tendance s'est affirmée et l'on a montré

⁽³⁾ B. GUINOT, *Bull. Astron.*, t. 18, 1954, p. 305, fig. 9.

TABLEAU III.

Corrélation des résidus et des écarts-types avec le type spectral.

Type spectral.	Moyenne des résidus en 0",01.	Moyenne des écarts-types en 0",01.
B	+ 1,7 ± 2,6	17,4 ± 0,6
A	+ 1,3 ± 1,8	17,3 ± 0,6
F	+ 0,3 ± 2,2	16,9 ± 0,8
G	— 0,1 ± 2,5	16,4 ± 0,6
K	— 0,1 ± 2,1	17,6 ± 0,5
M	+ 0,9 ± 4,7	17,9 ± 1,5

que cet effet s'expliquait par la présence d'une erreur systématique Δx_z des ascensions droites du catalogue en fonction de la déclinaison [14]. Les résultats de l'astrolabe O. P. L. conduisent à une même conclusion, comme on le lira plus loin.

TABLEAU IV.

Corrélation des écarts-types avec l'azimut.

Azimut (à partir du Nord).	Moyenne des écarts-types en 0",01.	
	Distributeur à petite course.	Deux distributeurs.
10° — 30°	17	14
30 — 50	23	15
50 — 70	22	17
70 — 90	22	17
90 — 110	18	17
110 — 130	19	15
130 — 150	20	16
150 — 170	18	15
190 — 210	20	16
210 — 230	19	15
230 — 250	27	15
250 — 270	21	17
270 — 290	25	17
290 — 310	23	19
310 — 330	21	15
330 — 350	18	17

Quant à la précision des observations, il fallait s'attendre à ce qu'elle soit meilleure pour les étoiles circumméridiennes, dont le passage est observé plus longuement. C'est bien ce qui se produit, si un seul distributeur est utilisé (tableau IV); mais, si l'on fait usage des deux distributeurs, les durées d'observation diffèrent beaucoup moins et cet effet disparaît. Le tableau IV illustre bien l'amélioration qu'apporte le distributeur à grande course : les écarts-types restent invariables quels que soient les azimuts et l'on peut en conclure qu'il est inutile de prolonger

l'observation au-delà de 25 s (la durée la plus courte est de 26 s dans le premier vertical à Paris).

Un effet d'adaptation à l'obscurité. — En étudiant les résidus des étoiles, M. Bonneau a constaté que les résidus des premières étoiles d'un groupe étaient, en général, négatifs. Une étude plus poussée lui a montré que l'effet ne se produisait que lorsque le groupe était le premier de la nuit et de l'observateur.

M. Bonneau a calculé séparément les résidus moyens des étoiles suivant que le groupe avait été observé en premier ou en deuxième lieu, puis, pour chaque étoile, il a fait la différence de ces résidus. Il a formé ensuite la moyenne des 12 différences pour chacune des étoiles de rang n des 12 groupes. La figure 1 représente les résultats obtenus : la différence se stabilise vers $+ 0'',03$. La première étoile a une différence de $- 0'',12$.

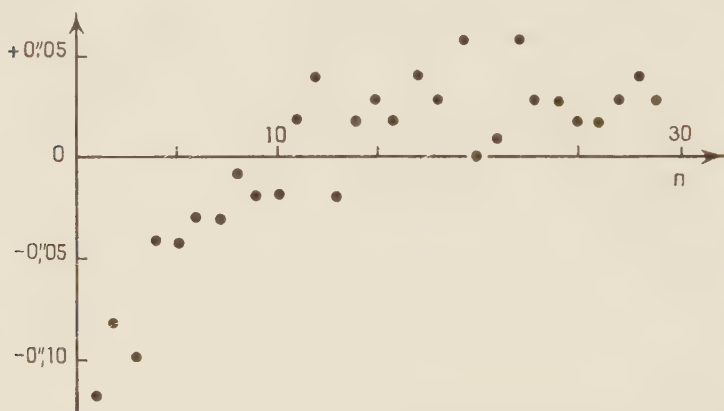


Fig. 1. — Différences des résidus des mêmes étoiles suivant qu'elles ont été observées dans le premier ou le deuxième groupe de la nuit et de l'observateur (1^{er} groupe-2^e groupe). Valeurs moyennes en fonction du rang n de l'étoile dans les groupes.

En moyenne, elle présente donc un résidu négatif de $- 0'',15$ lorsqu'elle est aussi la première de la nuit. Si l'on examine les moyennes des résidus des groupes observés en deuxième lieu, on ne constate aucune tendance des premiers résidus à être négatifs; d'autre part, les résidus des groupes observés en deuxième et en troisième lieu, toujours par le même observateur, ne diffèrent pas (fig. 2) : c'est donc bien le premier groupe qu'il faut incriminer.

On pouvait se demander si l'effet était dû à l'observateur ou à l'instrument. On a pu en décider en considérant les nuits où deux observateurs avaient travaillé successivement. Pour la première série du deuxième observateur, les résidus étaient encore négatifs, il s'agit donc bien d'un

effet personnel. Notons encore que pour les trois observateurs étudiés, l'effet reste identique, en grandeur et en signe.

La cause de cet effet est douteuse. Je pense qu'il pourrait être dû à la variation de la sensibilité chromatique de l'œil pendant l'accoutumance à l'obscurité. L'astrolabe utilise des pupilles d'entrée excentrées sur l'objectif, le spectre secondaire s'étale dyssymétriquement, au-dessus de l'une des images blanches et au-dessous de l'autre. Supposons que l'observateur maintienne les deux images blanches, qui correspondent au minimum focal, en coïncidence; s'il se met à pointer les deux pseudo-images rouges obtenues, par exemple, par la brusque interposition d'un filtre entre son œil et l'oculaire, il les verra écartées : la hauteur d'observation des images rouges n'est pas la même que celle des images blanches.

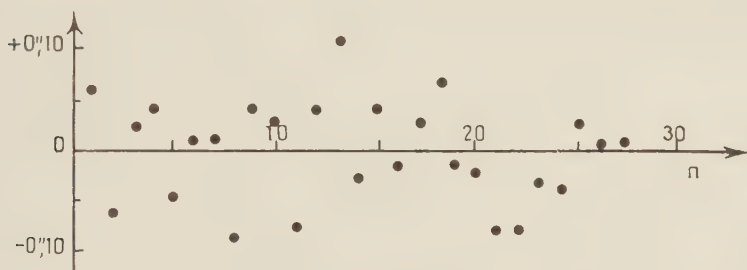


Fig. 2. — Différences des résidus des mêmes étoiles suivant qu'elles ont été observées dans le deuxième ou le troisième groupe de la nuit et de l'observateur (2^e groupe-3^e groupe). Valeurs moyennes en fonction du rang n de l'étoile dans les groupes.

Cet effet devrait donner une équation de type spectral, mais les couleurs des étoiles ne varient pas assez pour la rendre sensible. Par contre, il semble, par expérience personnelle, que les premières étoiles pointées soient visiblement rouges et empâtées.

Cette tentative d'explication importe peu d'ailleurs. L'effet est maintenant bien connu, quantitativement, et les résultats ont été corrigés pour en tenir compte. Mais, comme il est préférable de supprimer une erreur systématique plutôt que la corriger *a posteriori*, depuis le 1^{er} octobre 1957, les observateurs pointent systématiquement au moins cinq étoiles, qui sont rejetées, avant les étoiles du groupe. On voit, sur la figure 1, que cette méthode fait disparaître, en grande partie, cette erreur d'adaptation. Pour les résultats obtenus antérieurement au 1^{er} octobre 1957, on a corrigé les résidus d'après les valeurs du tableau V. Il en résulte de petites corrections qui atteignent 0^s,002 en temps et 0^{''},02 en latitude (tableau VI). Les résultats donnés par la suite tiennent compte de ces corrections, on les a ramenés à ce qu'ils auraient été si le groupe avait été observé en deuxième lieu.

TABLEAU V.

Corrections ajoutées aux résidus pour tenir compte de la variation de distance zénithale au début de la première série.

Rang de l'étoile.	Correction en 0",01.	Rang de l'étoile.	Correction en 0",01.	Rang de l'étoile.	Correction en 0",01.
1.....	+ 12	5.....	+ 5	10.....	0
2.....	+ 10	6.....	+ 3	11-12.....	- 1
3.....	+ 8	7.....	+ 2	13-14.....	- 2
4.....	+ 6	8-9.....	+ 1	15-30.....	- 3

TABLEAU VI.

Corrections ajoutées à la correction de l'horloge et à la latitude pour tenir compte de la variation de distance zénithale d'observation au début de la première série.

Unités : en temps, 0,00001 ; en latitude, 0",001.

Groupe.....	a.	b.	c.	d.	e.	f.	g.	h.	i.	j.	k.	l.
Correction :												
à ΔT	-20	+ 5	+2	-11	-12	- 8	-20	- 8	-11	-5	-5	+19
à φ	+17	-21	-8	-17	-10	-18	+16	+13	- 5	-2	-2	+10

Une première estimation de l'écart-type d'une observation isolée. — On a vu que l'écart-type des résidus de la même étoile ne dépendait pas des propriétés de l'étoile, on peut donc le prendre pour caractériser la précision interne des observations. On trouve ainsi : 0",17. Par la manière dont elle a été obtenue, cette valeur ne dépend pas des erreurs de catalogue.

Corrections de lissage interne. — Après une année d'observations, on a observé une vingtaine de fois chaque groupe. Le résidu moyen d'une étoile est donc connu avec un écart-type inférieur à 0",04. On peut songer à utiliser ce résidu moyen, qu'on attribue aux erreurs de catalogue, pour construire un système de corrections de lissage interne.

Supposons qu'au cours de la réduction, on retranche à δh , différence des distances zénithales « observation-calcul », ces résidus moyens. Par la façon même dont ces résidus ont été obtenus, la solution n'est pas modifiée, mais l'accord entre les équations de condition s'améliore. Dans la nouvelle solution ainsi calculée, seuls les écarts-types changent et leurs nouvelles valeurs seront à très peu de chose près celles qui auraient été trouvées en l'absence d'erreurs de catalogue.

Ce n'est pas là la principale utilité des corrections de lissage interne. Il arrive, par temps nuageux, que toutes les étoiles d'un groupe n'aient pas été observées. Le résultat diffère alors de celui qui aurait été donné par le groupe complet, par suite des erreurs de catalogue des étoiles manquantes. Les corrections de lissage interne qui annulent toutes les

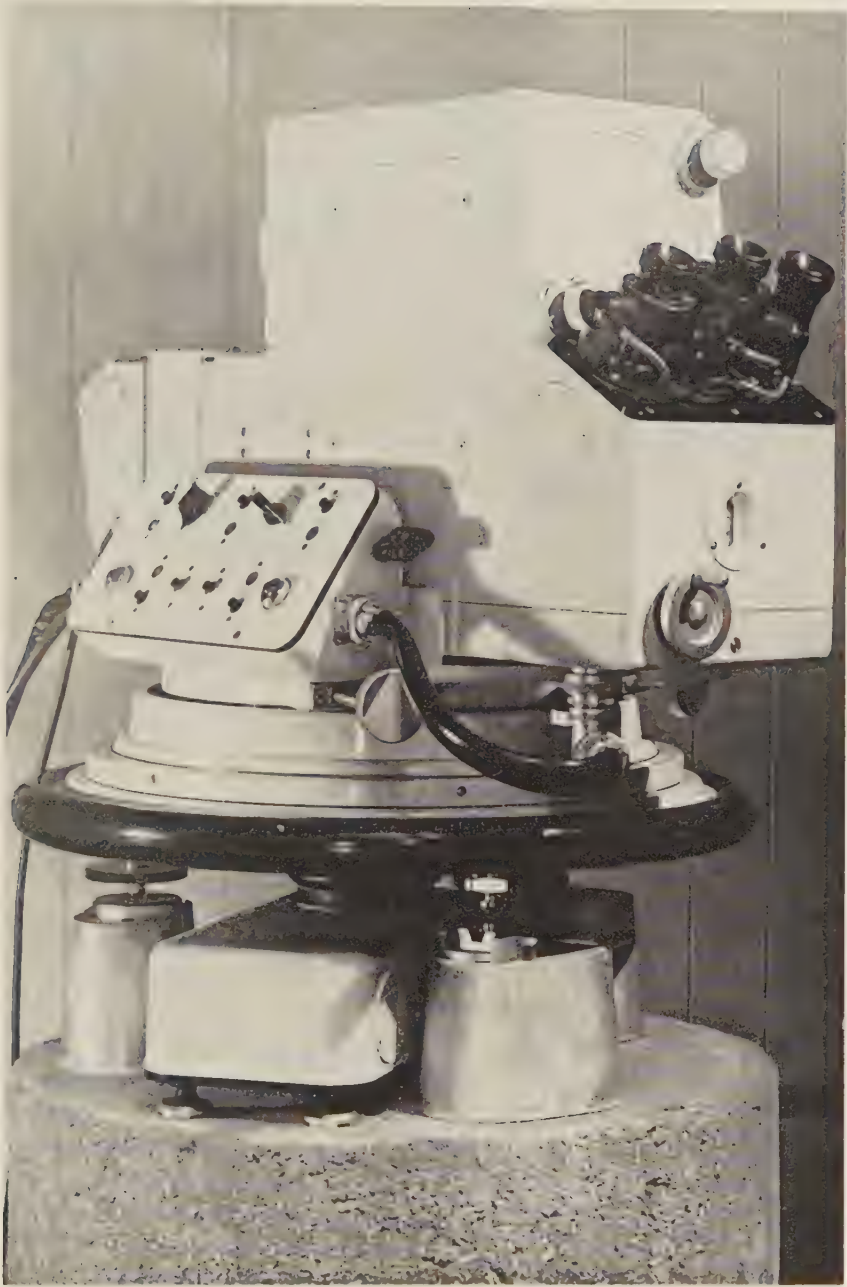


Planche I. — L'astrolabe A. Danjon, modèle O. P. L.

erreurs de catalogue rendent comparables les résultats des groupes complets et des groupes incomplets.

En pratique, afin d'avoir le résultat final de la réduction sans avoir à attendre que le groupe ne soit plus observable, on utilisera comme corrections de lissage interne les résidus moyens obtenus pendant l'année précédente. Exceptionnellement, pendant la première année, celle qui nous intéresse ici, on a appliqué après coup les corrections déduites des résidus moyens de la même année. Il en résulte que les écarts-types calculés pour chaque observation d'un groupe sont un peu trop faibles. Il faudrait les majorer de $0'',01$ environ.

On donne le tableau complet des résidus moyens M obtenus en 1956-1957 (tableau VII). Ces résidus sont à rapprocher de leur écart-type $0'',04$ et de celui d'une observation isolée $0'',17$. On constate que pour une seule observation d'un groupe d'étoiles, la part des erreurs de catalogue est plus grande que celle des erreurs d'observation.

L'écart-type d'une observation isolée. — Après application des corrections de lissage interne, on obtient l'écart-type en distance zénithale de l'observation de chaque étoile pour le groupe d'étoiles observé.

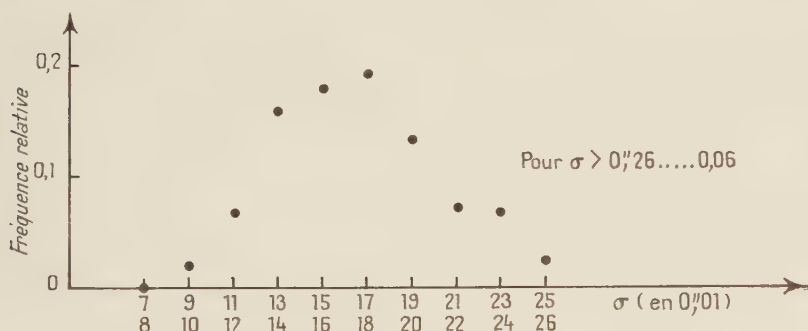


Fig. 3. — Fréquence relative des écarts-types d'une observation isolée.

La figure 3 montre la distribution de ces écarts-types pour MM. Arbey et Guinot. On trouve comme valeur modale $0'',17$ (la valeur moyenne en diffère peu). Il en résulte que la valeur la plus fréquente (et la valeur moyenne) des écarts-types sont, pour des groupes complets :

sur le temps : $0'',0043$;

sur la latitude : $0'',050$.

Si l'on ne fait pas les corrections de lissage interne, on trouve un écart-type de $0'',24$, en moyenne, pour une observation isolée et de $0'',006$ et $0'',07$ sur le temps et la latitude. Mais ces nombres ne représentent pas la précision des observations.

TABLEAU VII.

Composition des groupes, on donne le temps sidéral milieu.

Résidus moyens M bruts. Résidus moyens $\mathcal{M}$ ramenés au groupe moyen (voir chap. V).

Unité : 0,01. Les étoiles FK 3 Supp sont désignées par leur numéro GC (5 chiffres).

N°.	Groupe a (0 h).			Groupe b (2 h).			Groupe c (4 h).			Groupe d (6 h).		
	N° FK 3.	M.	$\mathcal{M}$.	N° FK 3.	M.	$\mathcal{M}$.	N° FK 3.	M.	$\mathcal{M}$.	N° FK 3.	M.	$\mathcal{M}$.
1.....	27	- 1	+ 3,0	893	- 6	- 7,8	00094	-26	-31,2	87	-56	-56,4
2.....	01630	+18	+22,3	832	+ 2	+10,1	174	+ 6	+ 7,2	300	+ 9	+ 9,1
3.....	758	0	+ 5,7	05236	- 25	-37,2	08826	- 6	+ 4,1	296	-27	-27,6
4.....	45	- 9	+ 4,8	830	+ 7	+10,8	33	+25	+ 8,8	314	-22	-22,2
5.....	99	-24	-18,1	836	- 6	- 1,0	42	+24	+ 7,4	1182	- 12	-13,2
6.....	01136	+ 7	+10,9	175	+11	- 0,2	08902	+16	+23,9	02836	- 4	- 5,1
7.....	831	- 9	- 5,1	89	+15	+ 9,2	89	+17	+ 3,6	03759	-10	-10,3
8.....	01474	-13	- 9,0	844	+ 1	+ 7,4	239	+17	+24,4	1173	-23	-24,6
9.....	767	- 1	+ 5,0	4613	-11	-21,7	46	-25	-33,8	08965	+17	+15,5
10.....	87	+26	+32,4	444	- 2	-12,6	235	-13	- 2,7	93	+16	+14,6
11.....	1575	0	+ 4,2	182	+ 8	- 2,6	09581	+ 3	+32,7	1116	+13	+10,9
12.....	28919	-36	-29,9	115	+ 7	+ 1,7	484	+ 4	+ 3,7	06259	- 8	-10,2
13.....	792	+ 4	+ 9,1	869	+22	+29,9	1158	-28	-22,9	174	+17	+14,8
14.....	112	- 3	+ 2,6	853	-11	- 7,4	280	+36	+46,1	12761	+16	+16,1
15.....	783	+12	+17,9	863	- 4	- 1,2	1089	+10	- 2,7	144	+ 9	+ 7,0
16.....	839	- 8	- 4,3	1032	+25	+28,7	32	- 7	-36,8	310	+44	+44,2
17.....	122	-15	- 8,9	04944	+ 4	- 5,8	1094	- 8	-20,7	279	+ 6	+ 4,6
18.....	30219	-22	-17,3	27	+ 9	+14,9	06259	+ 5	+ 2,9	335	+33	+33,2
19.....	1032	+10	+13,6	01136	- 1	+ 6,4	1030	-12	-24,0	108	- 5	- 6,1
20.....	811	+ 4	+ 8,9	1089	- 2	- 7,0	292	+27	+36,9	358	+ 8	+ 8,0
21.....	129	- 4	+ 2,2	139	-12	-19,5	01434	-22	-29,9	148	- 3	- 4,9
22.....	1068	+16	+20,4	1094	-19	-24,1	1068	+ 2	-14,4	06048	+19	+16,8
23.....	809	+12	+18,3	32409	-27	-20,7	261	-21	-12,8	211	-14	-16,2
24.....	1568	+18	+23,2	06556	-17	-29,1	46	-14	- 20,4	1096	-34	-34,7
25.....	803	- 5	+ 1,0	06288	+31	+24,0	100	+16	+ 0,1	1232	+ 7	+ 6,4
26.....	03759	+13	+19,4	1457	+27	+15,7	211	-25	-26,0	122	+12	+11,2
27.....	880	- 1	+ 2,7	882	-17	-13,0	52	+21	+ 6,9	328	- 8	- 8,9
28.....	881	+11	+14,7	66	-11	- 7,4	1463	-22	-20,3			

TABLEAU VII (suite).

N°.	Groupe e (8 h).			Groupe f (10 h).			Groupe g (12 h).			Groupe h (14 h).		
	N° FK 3.	M.	$\Sigma\pi$.	N° FK 3.	M.	$\Sigma\pi$.	N° FK 3.	M.	$\Sigma\pi$.	N° FK 3.	M.	$\Sigma\pi$.
1.....	04858	-40	-33,6	1300	-18	-16,5	1323	-14	-9,4	412	-15	-13,2
2.....	383	-7	+4,0	234	-8	-11,0	19742	+2	+0,1	608	-12	-28,0
3.....	14688	+38	+50,0	405	-1	-1,4	18741	+14	+16,7	376	-4	-20,6
4.....	12496	+7	+13,9	233	-5	-8,5	371	+5	+4,2	619	+8	-2,3
5.....	241	-2	-0,1	458	-28	-26,1	11424	-1	-8,6	466	+26	+21,7
6.....	403	+22	+33,9	472	-1	0,0	17225	-12	-7,3	627	+5	-8,9
7.....	1244	-8	-0,5	237	-4	-8,3	540	+10	+10,4	1396	-22	-37,3
8.....	06288	-24	-14,9	1207	0	-5,8	347	-7	-15,3	17223	+7	+2,8
9.....	417	-10	+2,1	486	+21	+22,3	1370	+23	+25,4	22172	+25	+8,5
10.....	14491	-2	+8,6	1228	0	-5,0	1397	0	-2,0	16752	-20	-22,0
11.....	192	-31	-27,9	1176	-11	-16,3	535	-8	-6,2	403	-25	-25,4
12.....	185	+1	+7,5	305	-7	-12,9	1395	-7	-7,5	578	+10	-5,8
13.....	269	-8	-5,8	16754	+12	+13,3	405	+14	+14,4	398	-5	-2,9
14.....	08965	-2	0,0	08826	+9	+4,5	422	-16	-14,2	16051	+7	+8,2
15.....	1239	-16	-10,0	296	+34	+27,9	371	+22	+18,9	639	-14	-25,3
16.....	1145	+23	+26,3	1338	+37	+39,0	358	0	-8,6	21534	+2	-14,4
17.....	175	+14	+20,0	500	-8	-6,2	1258	+25	+22,0	1318	+20	+19,0
18.....	178	-5	-2,7	15162	-13	-14,6	14086	-11	-13,1	420	+18	+20,8
19.....	06556	+32	+35,4	1239	-11	-16,2	1379	+11	+4,3	612	+25	+17,4
20.....	371	+7	+14,5	422	-14	-15,4	550	+4	-2,4	22020(**)	+23	+6,5
21.....	13143	+5	+11,4	18304	+5	+7,0	12646(*)	-2	-10,5	416	0	+2,1
22.....	14086	-18	-9,5	18356	+2	+4,1	13364	-4	-19,6	633	-2	-16,9
23.....	234	-5	-3,1	12496	+17	+11,4	1380	-23	-19,4	23172	-32	-48,6
24.....	182	+14	+20,7	1495	-12	-17,5	357	+7	-1,6	590	+14	+7,7
25.....	343	+17	+28,4	16030	+6	+5,0	1304	-21	-19,0	433	-2	-2,5
26.....	279	+10	+12,1	1318	0	+0,2	13319	+3	+4,8	429	+1	+1,7
27.....	440	+1	+13,1	12326	+12	+6,0	358	-3	-10,4	1332	-10	-10,1
28.....	10707	+12	+14,4	10377	-14	-19,2	355	-14	-22,4	24552	-12	-26,4
29.....	447	-1	+10,9	-	-	-	-	-	-	15875	-16	-13,7
30.....	260	-27	-17,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(*) Position moyenne erronée (voir Erratum du FK 3 Supp.).

(**) Positions apparentes prises dans les éphémérides de l'U. R. S. S. Il faudrait ajouter $-0^{\circ},25$ à M et $\Sigma\pi$ pour avoir l'écart par rapport au FK 3 Supp.

TABLEAU VII. (f_n).

N°.	Groupe i (16 h).			Groupe j (18 h).			Groupe k (20 h).			Groupe l (22 h).		
	N° FK 3.	M.	$\Sigma\Gamma$.	N° FK 3.	M.	$\Sigma\Gamma$.	N° FK 3.	M.	$\Sigma\Gamma$.	N° FK 3.	M.	$\Sigma\Gamma$.
1.....	25362	+ 4	+ 0,2	550	- 4	- 2,4	598	- 4	-11,7	1515	- 3	- 6,9
2.....	1440	+ 6	+ 5,8	28537	+16	+ 4,9	848	-11	- 9,1	859	- 8	- 0,2
3.....	672	- 1	- 4,6	572	+15	+21,2	690	+21	+18,6	25085	- 3	-10,4
4.....	1316	+21	+31,9	782	+12	+ 2,2	1583	-39	-35,8	685	-13	-18,8
5.....	618	- 7	- 5,3	1521	- 3	-14,5	863	- 1	- 2,0	1539	- 3	- 4,0
6.....	456	-10	- 0,6	618	+ 2	+ 4,6	1539	+11	+13,7	759	-10	-12,4
7.....	472	+ 7	+13,1	563	+ 2	+ 9,1	1434	+23	+15,4	1009	-16	- 6,7
8.....	695	-12	-13,0	531	+ 8	+15,0	1575	+20	+23,7	760	+29	+25,7
9.....	16985	-26	-16,4	732	- 3	-13,3	25003	+ 5	+ 1,4	714	+ 1	- 3,4
10.....	522	- 3	+ 8,2	25954	-14	-21,9	31998	- 3	- 0,9	724	- 5	-11,9
11.....	467	- 8	+ 1,0	593	+ 2	+ 7,6	22398	-27	-34,8	1510	+ 5	- 1,4
12.....	1460	0	- 0,9	555	-15	- 7,3	851	- 3	- 5,6	893	+31	+31,5
13.....	26138	+12	+ 7,8	27677	-19	-30,0	892	-21	-17,7	881	+ 1	+ 8,7
14.....	667	+24	+22,6	28242	- 8	-19,5	627	- 3	-10,7	1549	+42	+40,2
15.....	22802	-21	-19,8	703	+ 9	+ 2,7	681	+10	+ 5,0	1	-13	- 3,9
16.....	714	-13	-14,4	568	0	+ 7,5	1565	+ 1	+ 4,4	46	+ 6	+ 9,8
17.....	675	+21	-21,3	803	+12	+ 3,5	869	+ 3	+ 5,9	740	-11	-17,8
18.....	1400	- 9	+ 0,3	1515	+10	+ 0,4	823	+15	+18,6	1521	+ 3	- 3,5
19.....	1468	+ 7	+ 6,3	770	-17	-21,6	26569	- 6	- 8,0	1629	+ 1	+ 9,2
20.....	753	-14	-18,2	554	- 2	+ 2,1	32388	+50	+47,9	26175	- 9	-15,9
21.....	18009	+18	+28,8	573	+17	+24,7	1462	-35	-42,2	726	+ 4	- 3,2
22.....	1383	+11	+22,6	1414	- 5	+ 2,4	639	+29	+21,8	55	+14	+17,8
23.....	1494	- 2	- 2,2	1397	- 2	+ 4,6	1479	-28	-33,2	57	- 3	+ 4,9
24.....	20224	+21	+32,2	1440	+43	+47,6	1488	+12	+ 7,7	63	+21	+26,1
25.....	534	+ 4	+16,1	565	-17	-13,3	670	0	- 6,6	49	+10	+19,1
26.....	1396	-31	-19,7	1572	- 9	-17,9	899	+ 4	+ 4,6	42	-37	-27,6
27.....	713	+ 1	- 1,8	809	-28	-34,2	857	-10	- 6,3	738	-37	-44,4
28.....	500	0	+ 8,7	30391	+43	+32,2	664	-13	-20,0	1054	+ 3	+10,1
29.....	-	-	-	1465	-54	-52,4	-	-	-	-	-	-
30.....	-	-	-	759	+ 9	+ 5,8	-	-	-	-	-	-

On peut rechercher si l'écart-type évolue dans le temps. Pour cela, on en fait les moyennes mensuelles (tableau VIII). Ces moyennes portent sur les résultats de MM. Arbey et Guinot qui sont de même qualité. L'évolution est peu apparente. L'accord des fortes valeurs en juillet-août 1956 et 1957 est probablement fortuit : en 1956, les observateurs manquaient d'entraînement et ils n'utilisaient que le distributeur à petite course. Seules les valeurs de 1957 peuvent laisser penser que la dispersion augmente pendant l'été.

TABLEAU VIII.

Moyennes mensuelles des écarts-types pour MM. Arbey et Guinot.

Mois.	Moyenne des écarts-types.	Mois.	Moyenne des écarts-types.
1956 Juillet.....	0,20	1957 Avril.....	0,18
Août.....	22	Mai.....	18
Septembre.....	19	Juin.....	20
Octobre.....	19	Juillet.....	21
Novembre.....	16	Août.....	21
Décembre.....	20	Septembre.....	17
1957 Janvier.....	16	Octobre.....	17
Février.....	17	Novembre.....	17
Mars.....	16	Décembre.....	19

Par des circonstances atmosphériques excellentes, l'écart-type s'abaisse parfois à 0",10. Il a même atteint deux fois 0",09. Ces valeurs se rapportent à des groupes *complets* de 28 étoiles et il est difficile d'admettre qu'elles sont dues au hasard. La précision intrinsèque de l'astrolabe est donc caractérisée par un écart-type de 0",10 au plus; la limitation de précision est apportée habituellement par l'agitation atmosphérique.

CHAPITRE IV.

INFLUENCE DES ERREURS SUR CERTAINES CONSTANTES DE L'ASTRONOMIE.

Généralités. — Les 12 groupes observés ont été désignés par les lettres *a* à *l*. Les résultats de chaque groupe porteront en indice la lettre du groupe. Le but du raccordement est de déterminer les différences systématiques en temps, telles que $\Delta T_a - \Delta T_b$, ΔT étant la correction de l'horloge (*) et en latitude : $\varphi_a - \varphi_b$. Mais ce n'est pas tout, l'observation donne aussi la distance zénithale réelle d'observation *z* et, pour les travaux sur les catalogues d'étoiles, nous aurons aussi à utiliser les différences $z_a - z_b$, etc.

(*) Il faut tenir compte de la marche de l'horloge pour comparer les résultats des groupes. L'erreur sur la marche est tout à fait négligeable.

Après un an d'observations, la chaîne des différences est fermée et les sommes telles que

$$(\Delta T_a - \Delta T_b) + \dots + (\Delta T_l - \Delta T_a).$$

doivent être nulles. Elles ne le sont pas, en général, par suite des erreurs d'observation, des variations périodiques diurnes ou semi-diurnes des grandeurs à mesurer et des erreurs dans le calcul des coordonnées apparentes des étoiles.

Les variations à courte période de la latitude et de la correction de l'horloge ne sont pas encore très bien connues et leur détermination expérimentale pourra faire l'objet d'analyses des résultats obtenus pendant un laps de temps assez long. Par contre, on peut prévoir la forme des corrections à apporter aux résultats pour tenir compte des erreurs sur les constantes astronomiques qui entrent dans la réduction. Une erreur sur la constante de l'aberration, par exemple, a un rôle qui est propre au mode d'observation et que nous allons étudier. Nous verrons aussi que l'erreur sur la nutation modifie peu à peu le raccordement et qu'on peut en déduire, avec une approximation satisfaisante, la correction à la constante de la nutation.

Influence de la constante de l'aberration sur les résultats. —

Rappelons, pour fixer les notations, que dans les observations de hauteurs égales on calcule δh , qui est δh = distance zénithale observée — distance zénithale calculée. Pour faire le calcul de δh , on passe par l'intermédiaire des instants de passage, calculé et observé, mais il convient de garder ici la définition portant sur les distances zénithales. Précisons : la distance zénithale observée se déduit de la distance zénithale apparente d'observation par le calcul supposé exact de la réfraction et de termes correctifs, elle n'est fixée qu'à une constante près. La distance zénithale calculée se déduit du temps du passage au moyen des valeurs approchées de la correction de l'horloge et de la latitude et au moyen des coordonnées α et δ de l'étoile : c'est la distance zénithale calculée qui sera affectée par les erreurs sur les constantes astronomiques qui entrent dans la réduction.

Soient $\frac{x}{\cos \varphi}$, y et $-dz$ les corrections à ajouter à la correction de l'horloge, à la latitude et à la distance zénithale instrumentale d'observation dont on avait choisi des valeurs approchées arbitraires; on a à résoudre le système des n équations, n étant le nombre des étoiles du groupe

$$(1) \quad x \sin Z + y \cos Z - dz + \delta h = 0.$$

Z est l'azimut compté à partir du Nord, positivement vers l'Est. Pour résoudre graphiquement ces équations, on trace, à partir de l'origine O

des axes x, y , une demi-droite qui fait l'angle $Z + 180^\circ$ avec Oy (compté dans le sens inverse). On porte sur cette demi-droite la distance $OH = \delta h$ et l'on fait passer par H une droite D qui lui est perpendiculaire. En l'absence de toute erreur, les droites D enveloppent un cercle de centre x, y et de rayon dz . Après avoir résolu les équations (1), on peut tracer les droites de hauteur Δ en portant, cette fois, à partir de l'origine la distance $\delta h - dz$. Les droites de hauteur, qui sont à la distance dz des droites D sont concourantes au point x, y qu'on appelle ω .

Le problème qui se pose est le suivant : dans quelle mesure une erreur sur la constante de l'aberration affecte-t-elle le point $\omega (x, y)$ et aussi dz , que nous appellerons désormais, pour simplifier le langage, le rayon du cercle ajusté ?

Considérons la sphère céleste (fig. 4) sur laquelle sont portés le zénith vrai ζ , l'almucantarât qui correspond à la distance zénithale constante

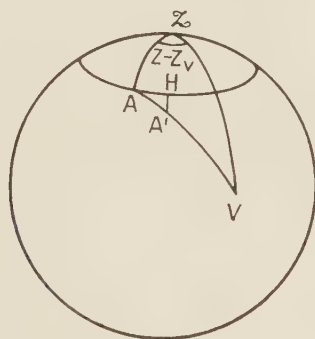


Fig. 4.

d'observation, les positions vraie et apparente A et A' de l'astre et l'apex du mouvement de l'observateur, V . On définit A, A' et V par leurs coordonnées horizontales, azimuth et distance zénithale : $A (Z, z)$, $A' (Z', z')$, $V (Z_v, z_v)$. Appelons encore v le côté AV du triangle ζAV et U son angle en A ; son angle en ζ est $Z - Z_v$. On sait que A, A' et V sont sur un grand cercle et que $AA' = k \sin v$, k représentant la constante de l'aberration.

AA' se projette en AH sur l'almucantarât. $HA' = -k \sin v \cos U$ est, en grandeur et en signe, la correction qu'il faut ajouter à la distance zénithale calculée, ou retrancher à δh , pour tenir compte de l'aberration. On pose

$$HA' = -d\delta h.$$

Désignons par δh_v et δh les distances zénithales « observation — calcul » suivant qu'on a fait le calcul en négligeant l'aberration ou en en tenant compte,

$$\delta h = \delta h_v + d\delta h.$$

δh est la quantité qui doit être utilisée pour la réduction, puisque la distance zénithale observée est apparente. Or, en considérant le triangle $\mathcal{Z}AV$, on peut écrire :

$$(2) \quad -d\delta h = -k \cos z_V \sin z + k \sin z_V \cos z \cos(Z - Z_V).$$

Si l'on néglige la durée de l'observation d'un groupe, Z_V et z_V sont des constantes et la formule (2) s'interprète aisément : les effets sur le rayon et ceux sur le temps et la latitude se séparent comme nous allons le montrer. Posons

$$(3) \quad d\delta h_1 = k \cos z_V \sin z,$$

$$(4) \quad d\delta h_2 = -k \sin z_V \cos z \cos(Z - Z_V).$$

1. *Correction au rayon.* — $d\delta h_1$ reste constant. Il exprime un changement du rayon du cercle ajusté : $dR = d\delta h_1$. Lorsque l'apex est au-dessus de l'horizon, il faut augmenter le rayon pour tenir compte de l'aberration. Les expressions (2), (3) et (4) restent également vraies si δh_1 représente la différence des distances zénithales « observation — calcul » pour une valeur approchée k_0 de k . Il suffit de remplacer k par dk , dk étant la correction à ajouter à k_0 pour obtenir la valeur exacte de la constante de l'aberration. Il en résulte que, pour un groupe déterminé qu'on commence à observer le matin (l'apex est alors au-dessus de l'horizon) et qu'on suit jusqu'à ce qu'il s'observe le soir, le rayon du cercle ajusté doit évoluer si la valeur de la constante de l'aberration, utilisée pour les réductions, n'est pas exacte. En particulier, si cette valeur est trop faible, comme il paraît vraisemblable, le rayon du cercle ira en augmentant. Cette pulsation du cercle ajusté pourrait à elle seule fournir la constante de l'aberration si l'on pouvait supposer que la distance zénithale apparente d'observation reste constante durant l'année. Il ne semble pas, malheureusement, qu'il en soit ainsi. Remarquons déjà que si l'on retouche l'inclinaison des fils du réticule, on la fait varier. Mais, comme le rayon varie dans le même sens pour tous les groupes, si l'on forme les différences de rayon entre groupes, la somme de ces différences, pour un an, qu'on appellera ε_R ,

$$\varepsilon_R = (dz_a - dz_b) + \dots + (dz_l - dz_a),$$

ne sera pas nulle et elle sera fonction de la constante de l'aberration.

Indiquons maintenant la grandeur de ces effets. Soit T le temps sidéral de l'observation d'un groupe. Si l'on considère la sphère céleste (*fig. 5*), on constate que la connaissance de T suffit à déterminer la position du point vernal et de l'écliptique par rapport à la sphère locale. La longitude de l'apex est $\odot - 90^\circ$, où $\odot$ représente la longitude du Soleil. dR , ou $d\delta h_1$, est une fonction sinusoidale de $\odot$. Le tableau IX donne l'expression de dR pour chaque groupe d'étoiles observé à Paris.

Si l'on prend, par exemple, $dk = + 0'',04$, l'amplitude de la variation du rayon pourrait être, au maximum, de $0'',036$ pour le groupe d qu'on aurait observé le plus longtemps possible.

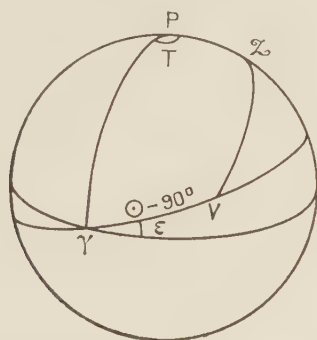


Fig. 5.

La figure 6 représente la variation de $-dR$. C'est la variation du rayon des groupes calculé avec la valeur approchée k_0 à laquelle il faudrait ajouter la correction dk . Sur la figure, on a hachuré les aires

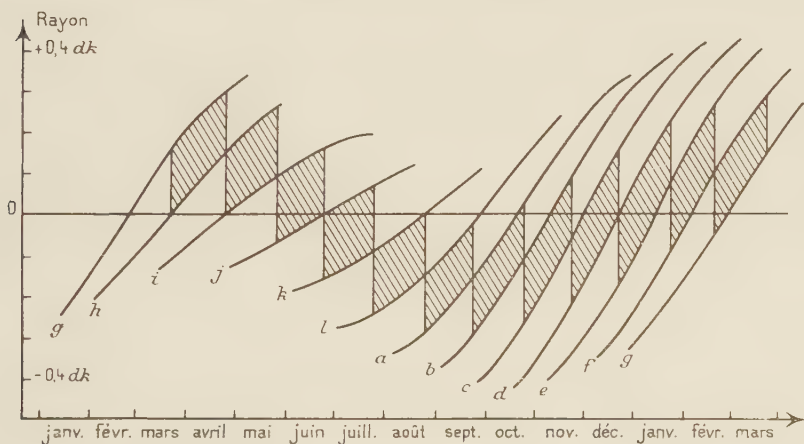


Fig. 6. — Variation du rayon de chaque groupe causée par une erreur dk de la constante de l'aberration (dk et rayon dans la même unité).

comprises entre les groupes consécutifs pour les périodes où ils doivent normalement être observés. On constate que les différences varient peu et qu'elles sont voisines de $0,16 dk$.

Soit R la valeur de dz qu'on trouverait en faisant usage de la valeur exacte de k . On a, dz étant la valeur correspondant à la valeur

approchée k_0

$$R = dz + dR.$$

Tous les groupes ne donneront pas la même valeur de R à cause des erreurs de catalogue. Mais on doit avoir

$$(R_a - R_b) + \dots + (R_l - R_a) = 0.$$

On a donc

$$-\varepsilon_R = (dR_a - dR_b) + \dots + (dR_l - dR_a),$$

en considérant que les différences restent constantes pour chaque paire de groupes. On voit que ε_R est voisin de $+ 2,0 dk$. On a donc là un moyen de mesurer la constante de l'aberration et cette fois les variations de la distance zénithale au cours de l'année n'interviennent pas : il suffit que la distance zénithale reste constante au cours de la nuit. Pour un calcul précis, on tiendra compte des valeurs réelles variables des différences $dR_a - dR_b, \dots$; cela s'impose, notamment si les groupes ont été observés en dehors de la période assignée par le programme.

TABLEAU IX.

Corrections à ajouter au rayon pour tenir compte d'une erreur dk de la constante de l'aberration.

Groupe.	Temps sidéral.	$dR.$	
<i>a</i>	0 ^b	$+ 0,36 \sin (\odot - 24^v) dk$	
<i>b</i>	2	$+ 0,41$	46
<i>c</i>	4	$+ 0,45$	68
<i>d</i>	6	$+ 0,45$	90
<i>e</i>	8	$+ 0,45$	117
<i>f</i>	10	$+ 0,41$	134
<i>g</i>	12	$+ 0,36$	156
<i>h</i>	14	$+ 0,29$	180
<i>i</i>	16	$+ 0,20$	212
<i>j</i>	18	$+ 0,15$	270
<i>k</i>	20	$+ 0,20$	328
<i>l</i>	22	$+ 0,29$	0

Remarquons, enfin, qu'il y a un terme annuel dans la variation du rayon, dû à l'aberration. Si le programme est rigoureusement suivi, l'amplitude de ce terme est $0,3 dk$.

2. *Corrections au temps et à la latitude.* — Le deuxième terme de $d \delta h$:

$$d \delta h_2 = - k \sin \varepsilon_V \cos \varepsilon \cos (Z - Z_V),$$

est nul en moyenne, il n'exprime aucun changement de rayon. Son interprétation est très simple : les droites de hauteur (*fig. 7*), qui tracées

en tenant compte de l'aberration se seraient coupées en ω' se coupent en ω si on la néglige. ω s'obtient en portant dans la direction opposée à l'apex la longueur

$$\omega\omega' = k \cos z \sin z_V.$$

Cela permet d'énoncer une proposition générale : le zénith apparent déterminé par la méthode des hauteurs égales se conduit, vis-à-vis de l'aberration, comme une étoile zénithale, mais il faut multiplier l'effet par $\cos z$, z étant la distance zénithale constante d'observation.

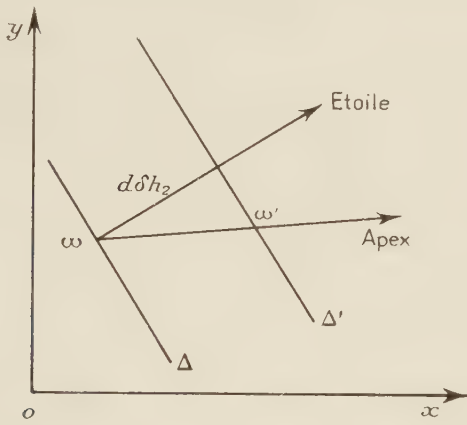


Fig. 7.

Comme première application, on peut retrouver le résultat connu sur l'aberration diurne : l'apex se trouve à l'Est et dans l'horizon. La vitesse de l'observateur est $V \cos \varphi$, V étant la vitesse équatoriale due à la rotation de la Terre (il suffit, ici, de supposer la Terre sphérique). On a

$$\omega\omega' = \frac{V \cos \varphi}{c} \cos z.$$

La correction à ajouter à ΔT , si l'on n'a pas tenu compte de l'aberration diurne, est $\frac{V}{c} \cos z$. Elle dépend de la distance zénithale, mais non de la latitude. Pour l'astrolabe, cette correction invariable est $+ 0^s,0184$. D'autre part, si l'on se reporte à la formule (3), on voit qu'il n'y a pas de changement de rayon, ce qui était évident *a priori*.

Si l'on considère maintenant l'aberration annuelle, on retrouve une méthode maintes fois appliquée pour déduire la constante de l'aberration des observations de latitude faites aux lunettes zénithales.

On suppose qu'on observe un groupe de temps sidéral de passage T à différentes époques de l'année. Comme on l'a montré à propos du

rayon, l'écliptique garde une position fixe par rapport au système de référence local. Le zénith apparent ζ' se trouve entre ζ et l'apex V (fig. 8) et

$$\zeta\zeta' = k \cos z \sin z_V.$$

Or, $\sin z_V$ est proportionnel à la projection de ζV sur l'horizon et ω décrit, par rapport à ω' , au cours de l'année, une ellipse dont le demi-grand axe

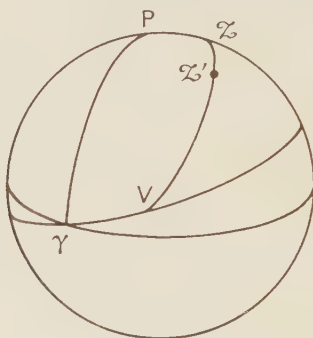


Fig. 8.

est $k \cos z$. On peut calculer le lieu de ω en utilisant les constantes de Bessel pour la réduction des étoiles : on recherchera l'effet de l'aberration en α et en δ pour une étoile d'ascension droite T et de déclinaison φ . Commençons par la latitude.

TABLEAU X.

Corrections à ajouter à la latitude pour tenir compte d'une erreur dk de la constante de l'aberration.

Groupe.	Temps sidéral.	$d\varphi$.
<i>a</i>	0 ^h	$-0,69 \sin (\odot - 341^{\circ}) dk$
<i>b</i>	2	$-0,56 \quad 7$
<i>c</i>	4	$-0,45 \quad 41$
<i>d</i>	6	$-0,38 \quad 90$
<i>e</i>	8	$-0,45 \quad 140$
<i>f</i>	10	$-0,56 \quad 173$
<i>g</i>	12	$-0,69 \quad 199$
<i>h</i>	14	$-0,77 \quad 223$
<i>i</i>	16	$-0,81 \quad 242$
<i>j</i>	18	$-0,83 \quad 270$
<i>k</i>	20	$-0,81 \quad 294$
<i>l</i>	22	$-0,77 \quad 317$

Pour Paris et $z = 30^{\circ}$, on en déduit les corrections du tableau X à ajouter à la latitude. La figure 9 représente les pseudo-variations de la

latitude lorsqu'on fait usage d'une valeur approchée de k . Comme pour l'étude du rayon, on calculera, ou l'on mesurera sur le graphique les différences $d\varphi_a - d\varphi_b, \dots$. Ici aussi, on a hachuré les aires comprises entre les groupes consécutifs, pour les périodes d'observation du programme : dans ces périodes, les différences entre groupes varient peu et l'on en déduit l'ordre de grandeur de l'équation de fermeture à attendre : $-3,8 dk$. Comme pour le rayon, les différences systématiques entre groupes, dues au catalogue, s'éliminent. Pour faire le calcul exact

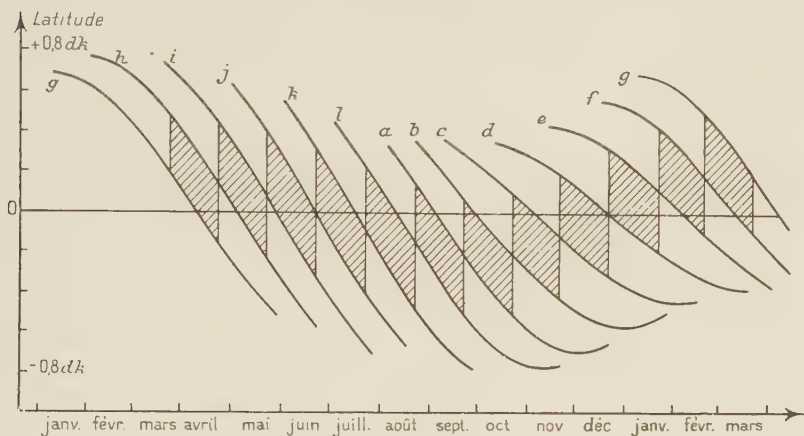


Fig. 9. — Variation de la latitude donnée par chaque groupe, causée par une erreur dk de la constante de l'aberration (dk et latitude dans la même unité).

de la constante de l'aberration, on calculera le facteur de dk pour chaque observation d'une paire de groupes. Nous donnerons plus loin l'application numérique de cette méthode.

La correction de l'horloge, pour des groupes observés au milieu de la nuit, est presque stationnaire. Faisons, comme pour le rayon et la latitude, le calcul de ses pseudo-variations. Appelons $d\Delta T$ la correction qu'il faudrait ajouter à la correction de l'horloge, si l'on avait fait la réduction en négligeant l'aberration, pour obtenir le résultat exact ⁽⁵⁾. Posons

$$dx = d\Delta T \cos \varphi.$$

Les expressions de dx , pour les groupes observés à Paris, sont données dans le tableau XI. Ici, on voit que l'équation de fermeture du raccordement en temps sera peu affectée par une erreur sur la constante de

⁽⁵⁾ Dans l'étude des termes correctifs à ΔT , on a omis systématiquement le facteur de conversion de temps sidéral en temps moyen. Son influence est négligeable.

l'aberration : aux dates du changement du programme, dx est maximum (fig. 10). Mais les corrections de l'horloge, données par un groupe qui serait suivi aussi longtemps que possible, subissent une évolution. Par exemple, si la constante de l'aberration était trop faible de $0''{,}04$, la correction de l'horloge pourrait décroître de $0^s{,}003$, puis croître de la même quantité. Un tel effet pourrait être mis en évidence en se référant à de bonnes horloges.

TABEAU XI.

*Corrections à ajouter à la correction de l'horloge,
pour tenir compte d'une erreur dk de la constante de l'aberration.*

Groupe.	Temps sidéral.	$d \Delta T \cos \varphi$.	
<i>a</i>	0 ^h	— 0,79 cos $\odot$	dk
<i>b</i>	2	— 0,81 cos ($\odot$ — 32°)	dk
<i>c</i>	4	— 0,85	62
<i>d</i>	6	— 0,87	90
<i>e</i>	8	— 0,85	118
<i>f</i>	10	— 0,81	148
<i>g</i>	12	— 0,79	180
<i>h</i>	14	— 0,81	212
<i>i</i>	16	— 0,85	242
<i>j</i>	18	— 0,87	270
<i>k</i>	20	— 0,85	298
<i>l</i>	22	— 0,81	328

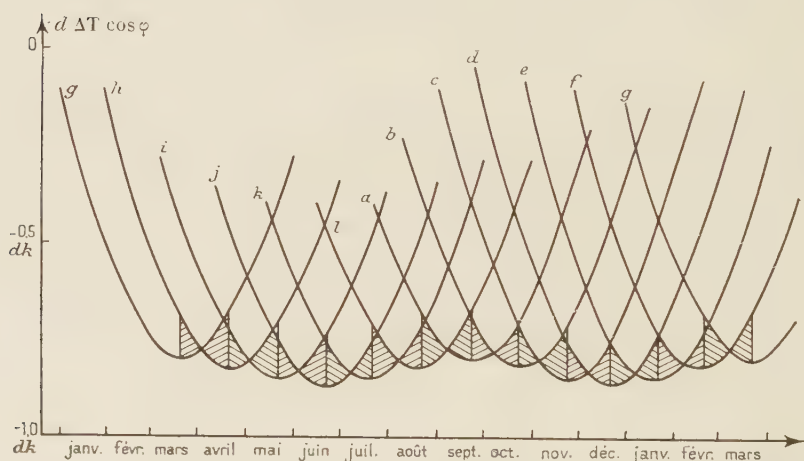


Fig. 10. — Variation de la correction de l'horloge donnée par chaque groupe, causée par une erreur dk de la constante de l'aberration (dk et $d \Delta T \cos \varphi$ dans la même unité).

Ainsi, tous les résultats de l'astrolabe sont affectés d'une façon sensible par une erreur sur la constante de l'aberration. On peut en déduire une

valeur de cette constante, mais il faut, auparavant, examiner le rôle des parallaxes stellaires qu'on a négligées au cours de la réduction.

Influence des parallaxes négligées. — Le calcul est identique à celui fait à propos de l'aberration, en ce qui concerne le déplacement d'une droite de hauteur quand on omet la parallaxe de l'étoile. Il suffit de remplacer, dans la formule (2), $\odot - 90^\circ$ par $\odot$ et k par Π , Π étant la parallaxe de l'étoile. Mais, alors que pour l'aberration, k était une constante pour toutes les étoiles, ici cette circonstance simplificatrice ne se produit plus. En toute rigueur, il faudrait calculer l'effet des parallaxes sur un groupe en tenant compte des valeurs individuelles des parallaxes. Les erreurs sur ces valeurs n'auraient qu'un rôle négligeable, étant donné le nombre des étoiles du groupe.

Comme les réductions doivent être refaites avec les éphémérides améliorées que nous fournira l'Institut de calculs de Heidelberg (*voir* chap. II), éphémérides qui contiendront les corrections pour les parallaxes supérieures à $0'',010$, nous n'avons pas apporté de corrections pour les parallaxes inférieures à $0'',050$ qui sont négligées dans les réductions actuelles. Recherchons, au moins d'une façon approchée, quel est l'effet global de ces parallaxes négligées.

Soit $d\delta h$ la correction qu'il faudrait ajouter à δh pour tenir compte de la parallaxe :

$$(5) \quad d\delta h = \Pi [\cos z_0 \sin z - \sin z_0 \cos z \cos (Z - Z_0)],$$

z_0 et Z_0 , désignant la distance zénithale et l'azimut du Soleil. Pour un groupe d'étoiles, en considérant z_0 et Z_0 comme constants, la modification du rayon du cercle ajusté est donnée par l'expression

$$dR = \Pi_m \cos z_0 \sin z,$$

où Π_m est la moyenne des parallaxes du groupe (on considérera comme nulles les parallaxes dont on a tenu compte). Les modifications à ΔT et φ sont

$$d\Delta T = - \frac{\Sigma d\delta h \sin Z}{\Sigma \sin^2 Z}, \quad d\varphi = - \frac{\Sigma d\delta h \cos Z}{\Sigma \cos^2 Z}.$$

On voit, en développant les numérateurs, qu'ils contiennent, d'une part des termes en $\Sigma \Pi$ et, d'autre part des termes en $\Sigma \Pi \sin Z$, $\Sigma \Pi \cos Z$, $\Sigma \Pi \sin 2Z$ et $\Sigma \Pi \cos 2Z$. Comme on a tenu compte des grandes parallaxes, ces derniers termes sont petits vis-à-vis de ceux en $\Sigma \Pi$. On corrigera donc la plus grande partie de l'effet des parallaxes négligées en ne tenant compte que des termes en $\Sigma \Pi$, ou, ce qui revient au même, en attribuant aux parallaxes des étoiles d'un groupe une valeur moyenne, Π_m supposée la même pour toutes. Le calcul est alors identique à celui fait à propos de l'aberration : il suffit de remplacer, dans les

expressions finales des corrections aux inconnues $\odot$ par $\odot + 90^\circ$ et k par Π_m . Π_m , qui varie peu d'un groupe à l'autre, est en moyenne égal à $0'',014$.

Il en résulte les effets suivants :

1. *Sur le rayon.* — Les maxima ne se trouvent pas aux dates de changement de programme (milieu de la période de deux mois d'observation d'un groupe), mais tantôt avant, tantôt après. Le raccordement n'en sera pas affecté en ce qui concerne son équation de fermeture, mais il présentera une petite ondulation, fonction de T , de période 24 h.

2. *Sur la latitude.* — On aboutit aux mêmes conclusions que pour le rayon.

3. *Sur le temps.* — Les corrections sont nulles au milieu de la période d'observation des groupes. Il y aura une équation de fermeture qui sera de l'ordre de $+0^s,004$ et qui pourra être répartie également sur toutes les différences.

Les approximations que nous avons faites : observations supposées concentrées à l'heure milieu du groupe, parallaxes négligées supposées constantes, en moyenne, dans les divers azimuts et pour tous les groupes, permettent une représentation simple des phénomènes. Elles sont suffisantes pour déduire la constante de l'aberration de quelques années d'observations.

On estime que la constante de l'aberration, ainsi mesurée, par erreur de fermeture annuelle, n'est pas exempte d'erreurs systématiques. Ces erreurs seraient dues à la réfraction et aux variations diurnes de la latitude. Si, toutefois, on voulait calculer une valeur précise après un grand nombre d'années d'observations, il y aurait lieu de tenir compte de toutes les parallaxes et de calculer le rôle exact de l'aberration, étoile par étoile.

Influence de la précession et de la nutation. — On aura une représentation suffisante des effets de la précession et de la nutation en supposant, ici encore, que toutes les observations d'étoiles d'un groupe sont concentrées à l'heure sidérale centrale T du groupe. En effet, ce que nous avons en vue est de rechercher la correction à la constante de la nutation. Cette correction est petite et une erreur relative, due au calcul, qui atteindrait, par exemple, $1/10^6$, est tout à fait négligeable devant les erreurs de mesure. Le calcul exact ne présente d'ailleurs aucune difficulté théorique, mais sa complexité cache le principe de la mesure.

La précession et la nutation étant des mouvements des axes auxquels sont rapportées les positions des étoiles, elles ne produisent qu'un mouvement d'ensemble des droites de hauteur et du cercle ajusté, sans variation de rayon de ce dernier. Les variations de ΔT et de φ sont iden-

tiques à celles qu'on constaterait si l'on avait observé le passage au zénith d'une étoile d'ascension droite T et de déclinaison φ : la correction au temps sidéral vrai du passage est égale à la correction de l'ascension droite et la correction à la latitude, à celle de la déclinaison.

Soit p la constante de la précession. Si cette constante est erronée, l'accord interne des groupes subsiste, mais il apparaît dans le raccordement des corrections proportionnelles au temps t :

$$\begin{array}{ll} pt \sin \varepsilon \sin T \operatorname{tg} \varphi & \text{pour la correction de l'horloge,} \\ pt \sin \varepsilon \cos T & \text{pour la latitude.} \end{array}$$

Appelons ΔN et $\Delta \Omega$ les corrections qu'il faudrait ajouter à N et Ω , nutations en longitude et en obliquité, pour passer des valeurs approchées aux valeurs exactes. Les corrections aux résultats sont les suivantes :

$$\begin{aligned} \Delta(\Delta T) &= \Delta N \sin \varepsilon \sin T \operatorname{tg} \varphi - \Delta \Omega \cos T \operatorname{tg} \varphi, \\ \Delta \varphi &= \Delta N \sin \varepsilon \cos T + \Delta \Omega \sin T, \\ \Delta R &= 0. \end{aligned}$$

Les facteurs de ΔN et $\Delta \Omega$ sont constants pour un groupe d'étoiles.

Les termes à courte période par rapport à la durée d'observation d'un groupe (deux mois) se traduiront donc par des oscillations des résultats.

Les termes annuels et semi-annuels affecteront le raccordement d'une façon constante et n'apparaîtront pas.

Les termes à période voisine de l'année affecteront le raccordement, celui-ci évoluera lentement d'année en année, l'effet sera difficile à mettre en évidence.

Plus intéressant est le rôle de l'erreur sur la constante de la nutation : la différence des résultats de deux groupes présentera une variation sinusoïdale en fonction du temps, de période 19 ans, qu'il sera facile de séparer de la variation progressive due aux erreurs sur les mouvements propres ou la précession. C'est ainsi que J. Jackson [15], puis Spencer Jones [16], ont pu déduire la constante de la nutation des observations de latitude faites avec la lunette zénithale flottante Cookson de l'Observatoire de Greenwich.

Comme notre programme n'a pas à être changé avant que s'achève la révolution du nœud de l'orbite lunaire (et même deux révolutions), on peut s'attendre à obtenir une bonne valeur de la constante de la nutation $\mathcal{N}$. Recherchons quel sera l'écart-type de $\mathcal{N}$ après 19 ans d'observations, en supposant que la qualité des résultats reste identique à ce qu'elle a été jusqu'à présent.

Considérons deux groupes successifs, observés autour des temps sidéraux T_1 et T_2 . Soit G la différence de leurs résultats en correction de l'horloge, due à la nutation. On peut écrire

$$G = (T_2 - T_1) \frac{d}{dT} (N \sin \varepsilon \sin T \operatorname{tg} \varphi - \Omega \cos T \operatorname{tg} \varphi),$$

avec

$$T_2 - T_1 = 2h \quad \text{ou} \quad 0,524 \text{ rad.}$$

Appelons θ la longitude du nœud de l'orbite lunaire :

$$N = -1,871 \mathcal{N} \sin \theta,$$

$$\Omega = \mathcal{N} \cos \theta.$$

D'où, pour Paris, avec $T = \frac{1}{2}(T_2 + T_1)$:

$$G = \mathcal{N}(-0,446 \cos T \sin \theta + 0,599 \sin T \cos \theta).$$

La demi-amplitude de la variation de G variera de $0,45 \mathcal{N}$ à $0,60 \mathcal{N}$. Prenons la valeur moyenne $0,53 \mathcal{N}$ pour continuer le calcul d'erreur.

En réalité, la différence observée G comprendra un terme constant G_0 , dû aux erreurs de position des étoiles à l'instant $t = 0$ et un terme progressif μt , qui sera dû aux erreurs sur les mouvements propres et la précession; on a donc

$$(6) \quad 0,53 \mathcal{N} \sin(T - \theta) + G_0 + \mu t - G = 0.$$

Chaque année, pour la durée d'observation de la paire de groupes qui est, en principe, d'un mois, on peut considérer θ constant. Lorsque le nœud aura accompli une révolution, on disposera de 19 équations (6), à trois inconnues, qu'on pourra résoudre par la méthode des moindres carrés. L'écart-type sur G est connu d'après l'accord des différences entre groupes : adoptons la moyenne des écarts-types des différences obtenues en 1956-1957, moyenne qui est de $0^s,0020$ ou $0'',030$. Cet écart-type sera aussi l'écart-type des résidus des équations (6).

Quant à l'écart-type sur $0,53 \mathcal{N}$, il est donné par le produit de $0'',030$ par la racine carrée du rapport

$$\frac{n \Sigma n^2 - (\Sigma n)^2}{\Delta}, \quad \text{avec} \quad \Delta = \begin{vmatrix} \Sigma \sin^2(T - \theta) & \Sigma \sin(T - \theta) & \Sigma n \sin(T - \theta) \\ \Sigma \sin(T - \theta) & n & \Sigma n \\ \Sigma n \sin(T - \theta) & \Sigma n & \Sigma n^2 \end{vmatrix}.$$

Dans ces expressions, n est le nombre d'années écoulées depuis la première observation. Les sommes sont étendues aux diverses valeurs de n et de θ pour les 19 équations. Le rapport varie avec la valeur initiale de θ . En se plaçant dans les meilleures conditions, on a

$$0,53 \sigma_{\mathcal{N}} = \frac{\sigma}{\sqrt{\Sigma \sin^2(T - \theta)}} = \frac{\sigma}{\sqrt{9,5}}.$$

La paire de groupes envisagée donne donc $\mathcal{N}$ avec un écart-type de $0'',018$, mais si l'on utilise toutes les observations on disposera de 12 paires de groupes et, si l'on attend quelques années supplémentaires pour obtenir

le maximum de précision sur $\mathcal{N}$, pour chaque groupe, l'étude du raccordement en temps livrera finalement la constante de la nutation avec un écart-type de $0'',0053$.

L'étude de la latitude est analogue. Soit L la différence des latitudes de deux groupes :

$$\begin{aligned} L &= (T_2 - T_1) \frac{d}{dT} (N \sin \varepsilon \cos T - \Omega \sin T) \\ &= \mathcal{N} (0,390 \sin T \sin \theta + 0,524 \cos T \cos \theta). \end{aligned}$$

La demi-amplitude de la variation de L varie peu, on prendra sa valeur moyenne : $0,46 \mathcal{N}$ et l'on écrira encore, en tenant compte des différences dues au catalogue d'étoiles :

$$0,46 \mathcal{N} \cos (T - \theta) + L_0 + \mu' t - L = 0,$$

T étant une constante, $\mathcal{N}$, L_0 et μ' , les inconnues. θ peut être considéré comme une constante pour chaque année. L'écart-type de L est, on le verra dans le chapitre suivant, voisin de $0'',025$. Il en résulte que $\mathcal{N}$ sera donné avec un écart-type de $0'',018$ par l'observation d'une paire et, si l'époque initiale est bien choisie, avec un écart-type de $0'',0051$ par l'observation des 12 paires de groupes.

Finalement, en combinant les résultats de temps et de latitude, on aura $\mathcal{N}$ avec un écart-type de $0'',0037$ (erreur probable : $0'',0024$).

Il se peut que dans une vingtaine d'années des résultats bien meilleurs aient été obtenus, mais à l'heure actuelle, cette précision présente de l'intérêt. Il convient de noter que l'organisation des observations est mal adaptée à l'obtention de la constante de la nutation : il faudrait, pour augmenter la précision, observer des groupes écartés et non des groupes contigus. La précision réellement obtenue sera, en fait, supérieure à ce que nous venons de calculer lorsqu'on tiendra compte du fait que, souvent, trois groupes consécutifs ont été observés.

La réfraction. — La valeur de la réfraction à 0°C et à la pression de 760 mm pour la distance zénithale apparente de 30° a été prise égale à $34'',69$. Le rayon du cercle ajusté est directement affecté par une erreur sur cette constante, comme par les erreurs de zéro du baromètre et du thermomètre, mais la latitude, la correction de l'horloge et le raccordement des trois inconnues n'en dépendent pas : les résultats que nous donnerons par la suite ne peuvent donc aucunement être affectés par ces erreurs.

Plus grave serait une anomalie de la réfraction dont le calcul ne permettrait pas de tenir compte et plus particulièrement une dyssymétrie suivant l'azimut. De tels effets sont indécélables dans les observations, comme l'étude des chapitres suivants le montrera.

CHAPITRE V.

RACCORDEMENT DES GROUPES.

Après application des corrections de lissage interne dont il a été question au chapitre III, on dispose de résultats homogènes, même si les groupes sont incomplets; les écarts-types sont dépouillés de la part due au catalogue d'étoiles. On forme les différences entre groupes consécutifs de la même nuit et du même observateur. Pour tenir compte de la qualité des observations et aussi du nombre d'étoiles lorsque le groupe est incomplet, on fait usage d'une pondération : le poids est inversement proportionnel au carré de l'écart-type. Le tableau suivant indique les poids utilisés.

Écart-type :		
sur ΔT en 0 ^s ,001,		
sur φ en 0 ^{''} ,01.		Poids.
5		4
6		3
7 et 8		2
9 à 13		1
14		0

L'écart-type est souvent inférieur à 5 des unités envisagées, mais on a limité les poids à 4. Le rôle de cette pondération n'est pas de favoriser des observations exceptionnelles, mais simplement de diminuer le rôle des observations anormalement mauvaises. Le poids 4 est celui qui est normalement obtenu, les poids inférieurs proviennent d'observations de débutants ou sont dus à des circonstances atmosphériques mauvaises.

Les différences entre les résultats des groupes sont pondérées en fonction des poids des résultats.

Poids des deux résultats.		Poids de la différence.	Poids des deux résultats.		Poids de la différence.
1	1	1	2	3	2
1	2	1	2	4	3
1	3	1	3	3	3
1	4	2	3	4	3
2	2	2	4	4	4

Raccordement des groupes en temps. — Nous reproduisons intégralement le tableau des différences pour les 12 groupes, corrigées de la marche de l'horloge (tableau XII). Puis nous donnons les moyennes pondérées de ces différences (tableau XIII). L'erreur de fermeture + 0^s,0014 n'est pas significative.

Le tableau XIII montre des différences remarquables. En particulier,

le groupe *b* (temps sidéral 2 h) fournit des corrections de l'horloge plus élevées de 0^s,023 que le groupe *c* (temps sidéral 4 h). Ce résultat est confirmé par les observations de quatre personnes. Comme la correction de l'horloge est donnée, par une seule observation d'un groupe, avec un écart-type de 0^s,004 ou 0^s,005, pour profiter pleinement des ressources de l'astrolabe, il faut appliquer les corrections de raccordement aux résultats. On aurait pu ramener tous les résultats à ceux d'un groupe particulier. Mais, afin de ne pas attribuer un rôle privilégié à un groupe

TABLEAU XII.

Différences systématiques en ΔT (même nuit, même observateur).

On donne pour chaque paire de groupes :

- la date, numéro du mois et jour (date du soir), années 1956 et 1957;
- l'initiale de l'observateur : A, M. Arbey; B, M. Billaud; D, M^{lle} Débarbat; G, M. Guinot;
- la différence des ΔT en millisecondes;
- le poids.

<i>j-k.</i>				<i>k-l.</i>				<i>l-a.</i>			
VII	23	G	+ 7 4	VII	26	A	— 4 4	VII	25	G	—11 3
VIII	9	G	+30 3	VIII	6	A	+14 3	VIII	6	A	—14 4
	10	A	+14 3		7	G	+ 9 3		27	G	—10 3
	11	G	+ 4 3		8	A	— 7 2		28	A	— 5 3
	16	A	+23 3		10	A	+ 5 3		30	A	— 2 3
					12	A	+16 2	IX	12	B	— 6 3
					16	A	—14 2		14	B	— 9 3
					18	A	— 3 4		17	B	+ 8 1
					19	G	+ 9 4		19	B	— 5 4
					30	A	0 3	XI	8	A	—13 4
				IX	10	B	+ 5 3				
					19	B	+ 6 3				
<i>a-b.</i>				<i>b-c.</i>				<i>c-d.</i>			
IX	20	G	— 6 4	X	21	B	+26 2	XI	20	G	— 5 4
	21	B	— 2 3	XI	5	A	+26 4		21	A	—12 4
	22	G	—10 4		8	G	+28 4		22	G	— 9 4
	23	B	—10 3		18	G	+27 4		30	G	—16 4
X	9	B	—16 2		20	G	+14 4	XII	24	G	—24 4
	10	A	+ 7 3		21	A	+18 4		30	G	—15 4
	11	B	—10 4		22	G	+21 4	I	6	A	— 4 4
	12	A	— 6 4		30	G	+16 3		11	G	—18 4
	14	A	—23 3	I	19	D	+27 3		12	A	— 9 4
	16	A	—24 4		21	D	+32 2		17	G	—15 4
XI	5	A	—10 4						18	A	— 9 4
									20	A	— 9 4

TABLEAU XII (*suite et fin*).

<i>d-e.</i>				<i>e-f.</i>				<i>f-g.</i>			
XII	30	G	+ 9 2	XI	29	D	- 6 4	II	27	A	- 7 4
I	6	A	- 5 4		30	A	+ 7 4	III	2	G	- 3 4
	10	A	+12 4	I	16	A	- 7 4		3	A	0 4
	11	G	+13 4		26	A	+ 5 3		4	G	- 9 4
	12	A	+ 8 4		27	G	- 3 4		11	A	+ 6 3
	19	G	- 1 4	II	3	A	- 1 4		15	A	+ 2 4
	20	A	+ 9 4		20	G	+ 6 4		20	G	- 8 4
	21	G	+ 2 4		25	A	+ 1 4		22	G	0 4
	22	A	0 4		27	A	0 4		29	A	+ 5 4
	27	G	- 3 4		28	G	- 1 4		31	A	+ 1 4
II	4	G	0 2	III	1	A	+ 4 4	IV	1	G	+ 2 4
	6	G	- 3 4		15	A	+ 1 4		5	G	+ 3 4
III	4	D	- 1 4		20	G	+ 2 4		9	G	- 9 3
									14	A	+ 9 4
<i>g-h.</i>				<i>h-i.</i>				<i>i-j.</i>			
III	21	A	- 9 4	IV	1	D	-10 4	IV	30	A	- 9 3
	22	G	-11 4		3	G	+ 5 3	V	15	A	- 7 2
	29	A	-23 4		4	A	+ 5 4		22	A	- 3 4
	30	G	-22 4		5	D	+13 1		25	G	+ 4 3
IV	4	A	-11 4		9	D	+14 2		27	G	+ 4 4
	8	A	-12 4		14	A	- 4 4		28	A	- 4 4
	11	G	-16 4		16	A	+15 3		29	G	- 4 3
	14	A	- 7 4	V	11	G	- 3 4		30	A	- 9 4
	21	D	-13 3		16	D	+ 8 2		31	G	- 5 4
V	1	G	- 6 4		19	G	+ 9 4	VI	1	A	- 8 4
	3	G	-13 4		21	G	+ 2 4		5	A	0 4
	4	A	- 7 3		22	A	- 5 4		11	A	+ 8 3
	11	G	-15 4		28	A	- 2 4		25	A	+ 9 4
					30	A	0 4		26	G	+ 1 3
				VI	1	A	0 4		27	A	- 5 4
									28	G	+ 3 3

Ces nombres peuvent différer légèrement de ceux qu'on déduirait du Bulletin Horaire, car les résultats ont été fournis au Bureau International de l'Heure avant vérifications complètes des réductions.

arbitrairement choisi, les résultats sont ramenés au *groupe moyen*, groupe qui donnerait, par définition, la moyenne des résultats de tous les autres groupes s'ils pouvaient être observés simultanément. Par exemple, on peut calculer tous les écarts à *j*, puis en faire la moyenne, qui est l'écart *j — m*, où *m* désigne le groupe moyen. On en déduit les écarts au groupe moyen. Ceci suppose qu'auparavant on ait pu faire disparaître l'erreur de fermeture : nous nous bornons à la répartir également sur toutes les différences.

TABLEAU XIII.

Valeurs moyennes des différences systématiques en ΔT et leurs écarts-types.

Groupes.	Différence en 0 ^s ,001.	Nombre de paires.
<i>j-k</i>	+ 15,0 $\pm$ 4,1	5
<i>k-l</i>	+ 3,2 $\pm$ 2,2	12
<i>l-a</i>	— 8,0 $\pm$ 1,7	10
<i>a-b</i>	— 10,0 $\pm$ 2,5	11
<i>b-c</i>	+ 23,0 $\pm$ 1,7	10
<i>c-d</i>	— 12,1 $\pm$ 1,7	12
<i>d-e</i>	+ 3,0 $\pm$ 1,7	13
<i>e-f</i>	+ 0,5 $\pm$ 1,1	13
<i>f-g</i>	— 0,5 $\pm$ 1,5	14
<i>g-h</i>	— 12,8 $\pm$ 1,5	13
<i>h-i</i>	+ 1,7 $\pm$ 1,8	15
<i>i-j</i>	— 1,6 $\pm$ 1,5	16
Erreur de fermeture.....	+ 1,4 $\pm$ 7,1	

Les corrections à ajouter à ΔT pour passer au groupe moyen sont les suivantes :

Groupes.	Correction à ajouter en 0 ^s ,001.	Groupes.	Correction à ajouter en 0 ^s ,001.
<i>a</i>	+ 0,1	<i>g</i>	+ 3,3
<i>b</i>	— 10,0	<i>h</i>	— 9,6
<i>c</i>	+ 12,9	<i>i</i>	— 8,0
<i>d</i>	+ 0,7	<i>j</i>	— 9,7
<i>e</i>	+ 3,6	<i>k</i>	+ 5,1
<i>f</i>	+ 3,9	<i>l</i>	+ 8,2

On ne peut porter aucun jugement sur les résultats en temps de l'astrolabe sans apporter au préalable ces corrections. Nous ne donnerons pas dans le présent Mémoire l'étude des corrections de l'horloge. M. Arbey l'a entreprise et notre rôle s'est borné à lui fournir les corrections de raccordement.

Il est difficile de savoir quelle est la valeur de ce raccordement. Les corrections sont obtenues de proche en proche et, ce qui est le plus à craindre, est l'introduction d'une erreur périodique. Il ne semble pas toutefois qu'une telle erreur puisse avoir une amplitude supérieure à 0^s,005. Nous serons fixés sur ce point ultérieurement lorsque nous disposerons de plusieurs années d'observations. Les résultats obtenus en 1957 donneraient les valeurs suivantes des corrections (en faisant coïncider les corrections pour le groupe *j*) :

Groupes.	Correction à ajouter en 0 ^s ,001.	Groupes.	Correction à ajouter en 0 ^s ,001.
<i>j</i>	— 9,7	<i>a</i>	— 0,8
<i>k</i>	— 1,3	<i>b</i>	— 15,4
<i>l</i>	+ 6,3	<i>c</i>	+ 6,9

L'accord est satisfaisant.

Raccordement des groupes en latitude. — Nous donnons également toutes les différences de latitude obtenues (tableau XIV). Pour avoir la différence réelle due au catalogue, il faudrait ajouter aux valeurs mesurées un terme en dk , dk étant la correction à ajouter à la constante de l'aberration. Le facteur de dk figure dans le tableau, il varie peu au cours d'une période d'observation d'une paire de groupes et il est possible d'en faire la moyenne pondérée en même temps que celle des différences. Ces moyennes sont données dans le tableau XV. L'erreur de fermeture devrait être nulle et par suite :

$$k = 20",480 \pm 0",024 \quad (\text{écart-type}).$$

TABLEAU XIV.

Différences systématiques en latitude (même nuit, même observateur).

On donne pour chaque paire de groupes :

- la date, numéro du mois et jour (date du soir), années 1956 et 1957;
- l'initiale de l'observateur (voir tableau XII);
- la différence des latitudes en $0",01$;
- le facteur de dk ;
- le poids.

<i>j-k.</i>					<i>k-l.</i>					<i>l-a.</i>								
VII	23	G	- 3	+0,31	4	VII	26	A	+ 2	+0,30	3	VII	25	G	+ 6	+0,24	2	
VIII	9	G	+ 9		25	2	VIII	6	A	+ 2	32	1	VIII	6	A	+19	26	3
	10	A	- 5		25	3		7	G	- 1	32	2		27	G	-10	31	2
	11	G	- 6		24	3		8	A	-18	32	1		28	A	+ 5	31	1
	16	A	-11		22	1		10	A	0	33	2		30	A	- 3	32	3
								12	A	- 9	33	1	IX	12	B	- 3	33	3
								16	A	+13	33	1		14	B	- 7	33	1
								18	A	-14	33	3		17	B	+24	32	1
								19	G	+28	33	3		19	B	+15	32	2
								30	A	- 1	31	2	XI	8	A	-11	15	2
							IX	10	B	+ 2	27	1						
								19	B	-23	22	1						
<i>a-b.</i>					<i>b-c.</i>					<i>c-d.</i>								
IX	20	G	+15	+0,29	4	X	21	B	+ 2	+0,25	1	XI	20	G	+ 4	+0,33	4	
	21	B	- 2		29	2	XI	5	A	+10	30	4		21	A	-11	33	4
	22	G	- 8		29	3		8	G	+ 7	30	4		22	G	+ 7	33	4
	23	B	+ 3		30	2		18	G	- 1	30	4		30	G	- 3	33	3
X	9	B	-12		31	2		20	G	- 6	30	4	XII	24	G	- 1	34	4
	10	A	+ 1		31	2		21	A	+13	30	4		30	G	- 8	31	4
	11	B	+ 6		31	4		22	G	+ 5	30	4	I	6	A	- 7	30	4
	12	A	-16		31	3		30	G	+ 5	28	3		11	G	- 8	28	4
	14	A	- 8		31	3								12	A	- 5	28	4
	16	A	- 5		31	3	I	19	D	+ 9	22	3		17	G	+ 5	26	4
								21	D	+12	21	2		18	A	-18	26	4
XI	5	A	-13		29	4								20	A	0	25	4

TABLEAU XIV (*suite et fin*).

<i>d-e.</i>					<i>e-f.</i>					<i>f-g.</i>							
II	30	G	- 7	+0,33	0	XI	29	D	-12	+0,11	3	II	27	A	- 1	+0,30	4
I	6	A	- 9	33	4		30	A	- 8	12	4	III	2	G	-18	30	3
	10	A	- 6	33	4	I	16	A	- 1	31	4		3	A	- 7	30	4
	11	G	+ 3	33	4		26	A	- 4	31	3		4	G	-11	30	3
	12	A	-19	33	4		27	G	- 4	31	4		11	A	- 4	30	3
	19	G	- 4	31	4	II	3	A	- 1	32	4		15	A	- 9	29	4
	20	A	0	31	4		20	G	- 4	31	4		20	G	- 7	28	4
	21	G	+ 6	31	4		25	A	- 1	30	4		22	G	- 8	28	4
	22	A	- 4	31	4		27	A	- 4	29	4		29	G	+ 7	26	3
	27	G	+ 1	31	4		28	G	+ 5	29	4		31	A	- 9	25	3
II	4	G	- 4	29	2	III	1	A	- 3	28	3	IV	1	G	- 9	25	4
	6	G	- 9	28	4		15	A	- 4	25	4		5	G	- 2	25	3
III	4	D	+ 1	18	4		20	G	+ 4	22	4		9	G	-19	24	3
													14	A	- 7	22	4
<i>g-h.</i>					<i>h-i.</i>					<i>i-j.</i>							
III	21	A	-11	+0,31	4	IV	1	D	- 4	+0,25	4	IV	30	A	-11	+0,27	3
	22	G	- 8	31	4		3	G	0	25	3	V	15	A	+23	28	1
	29	A	- 7	31	3		4	A	- 6	26	3		22	A	-16	29	3
	30	G	+14	31	4		5	D	- 7	26	1		25	G	-15	30	2
IV	4	A	- 3	31	4		9	D	+ 7	27	2		27	G	+ 3	30	4
	8	A	- 9	31	4		14	A	- 5	28	4		28	A	- 1	30	4
	11	G	+16	30	4		16	A	-13	29	2		29	G	+ 1	30	2
	14	A	- 6	30	4	V	11	G	+ 4	31	4		30	A	+19	30	3
	21	D	+20	30	2		16	D	-11	31	1		31	G	- 4	31	4
V	1	G	1	29	4		19	G	- 8	31	4	VI	1	A	+ 3	31	4
	3	G	24	29	3		21	G	- 2	31	4		5	A	+ 7	31	3
	4	A	-18	28	3		22	A	- 7	31	4		11	A	+ 2	31	3
	11	G	- 7	28	4		28	A	-13	31	4		25	A	+ 1	30	3
							30	A	-10	31	4		26	G	+21	30	3
						VI	1	A	0	31	3		27	A	3	29	3
													28	G	+ 6	29	3

Comme pour les mesures de temps, nous déduirons des différences entre groupes un tableau de corrections pour passer au groupe moyen. L'erreur de fermeture sera répartie comme si elle était due uniquement à l'erreur sur la constante de l'aberration, ce qui équivaut pratiquement à une équipartition. Les corrections à ajouter à φ sont les suivantes :

Groupe.	Correction à ajouter en 0",01.	Groupe.	Correction à ajouter en 0",01.
<i>a</i>	+ 1,5	<i>g</i>	5,8
<i>b</i>	- 1,3	<i>h</i>	+ 2,0
<i>c</i>	+ 4,7	<i>i</i>	- 2,1
<i>d</i>	+ 1,2	<i>j</i>	0,0
<i>e</i>	+ 3,6	<i>k</i>	- 2,6
<i>f</i>	+ 1,2	<i>l</i>	- 1,8

TABLEAU XV.

Valeurs moyennes des différences systématiques en latitude avec leurs écarts-types et le coefficient de l'aberration.

Groupes.	Différence en 0",01.	Coefficient de l'aberration.	Nombre de paires.
<i>j-k</i>	- 2,9 ± 3,1	+ 0,26	5
<i>k-l</i>	+ 0,5 ± 4,0	+ 0,31	12
<i>l-a</i>	+ 3,0 ± 3,6	+ 0,29	10
<i>a-b</i>	- 3,1 ± 2,9	+ 0,30	11
<i>b-c</i>	+ 5,7 ± 1,8	+ 0,28	10
<i>c-d</i>	- 3,8 ± 2,0	+ 0,30	12
<i>d-e</i>	+ 1,9 ± 2,0	+ 0,30	13
<i>e-f</i>	- 2,6 ± 1,2	+ 0,26	13
<i>f-g</i>	- 7,3 ± 1,6	+ 0,27	14
<i>g-h</i>	+ 7,4 ± 2,5	+ 0,30	13
<i>h-i</i>	- 4,9 ± 1,4	+ 0,29	15
<i>i-j</i>	+ 2,6 ± 2,5	+ 0,30	16
Erreur de fermeture.....	- 3,5 ± 8,7	+ 3,5 <i>dk</i>	

Là encore, l'erreur la plus à craindre serait une erreur périodique en fonction du temps sidéral du passage : cette erreur affecterait le terme annuel de la variation de la latitude. L'amplitude d'une telle erreur est sans doute inférieure à 0",05. Les premiers résultats de 1957-1958 donneraient les valeurs suivantes des corrections (en faisant coïncider les corrections pour le groupe *j*) :

Groupe.	Correction à ajouter en 0",01.	Groupe.	Correction à ajouter en 0",01.
<i>j</i>	0,0	<i>a</i>	+ 1,6
<i>k</i>	+ 3,6	<i>b</i>	- 2,0
<i>l</i>	+ 2,8	<i>c</i>	+ 0,3

L'accord est satisfaisant.

Raccordement des groupes en distance zénithale. — La correction de l'horloge et la latitude ne dépendent que des observations astronomiques et elles ne sont pas affectées par des erreurs sur des mesures auxiliaires : c'est ainsi qu'on a pu dire que l'astrolabe était un instrument sans constantes instrumentales. La distance zénithale observée (ou le rayon du cercle ajusté) dépend, au contraire, de plusieurs mesures auxiliaires : mesure de la position du micromètre pour le contact moyen (v_m), mesure de la position du micromètre pour le dédoublement nul qui

correspond à la distance zénithale d'observation lorsque les deux images coïncident dans le plan focal (v_0), mesure des éléments qui interviennent dans le calcul de la réfraction. De l'accord interne des séries, on déduit un écart-type du rayon. Mais à cette erreur, due aux observations astronomiques, il faut encore ajouter la part due aux erreurs des mesures dont il vient d'être question — et cette part est prépondérante. La mesure de v_0 se fait, par exemple, avec un écart-type qui est de l'ordre de $0'',05$, alors que le plus souvent les observations astronomiques donnent le rayon avec un écart-type de $0'',03$. En outre, le parallélisme de la droite qui joint les centres des deux images de l'étoile et des fils ne s'apprécie pas sans erreur personnelle. Cette erreur, qui affecte la distance zénithale seulement, mais non les mesures de temps et de latitude, et qui atteint $0'',3$, peut varier pour le même observateur. Pour ces raisons, le raccordement en rayon sera moins bien assuré que les autres. D'autre part, nous ne ferons pas usage de pondération.

Nous ne tenterons pas de déduire de ce raccordement une valeur de la constante de l'aberration. Cette valeur serait trop peu précise et, surtout, elle risquerait d'être systématiquement erronée par suite de la variation de la distance zénithale lors de l'observation des premières étoiles (*voir* chap. III). Cet effet, qui produit une différence constante entre les rayons du premier et du deuxième groupe, a la même forme que l'effet d'une erreur sur la constante de l'aberration et il se traduit, à la fin de l'année, par une équation de fermeture. Il ne paraît pas possible, actuellement, d'estimer la part de cette variation dans l'erreur de fermeture. Mais, comme nous procéderons à l'équipartition de l'erreur de fermeture, le raccordement sera correct et il nous sera utile pour l'étude des catalogues d'étoiles.

Nous donnons encore intégralement le tableau des différences de rayon pour la première année d'observations (tableau XVI). Certaines dates figurent dans les tableaux relatifs à la correction de l'horloge et à la latitude, mais non dans le tableau XVI. Cela provient de ce que nous avons fait l'essai de nombreux prismes destinés à d'autres astrolabes : deux groupes consécutifs observés avec deux prismes différents ne donnent des résultats comparables qu'en temps et en latitude. D'autre part, quelques valeurs supplémentaires proviennent de groupes très incomplets qui n'ont pas été utilisés pour le temps et la latitude, mais qui peuvent être conservés pour le rayon à cause de la prépondérance des erreurs sur les mesures des constantes instrumentales.

Les valeurs élevées des différences $j - k$ de 1956 nous paraissent suspectes. Peut-être les observateurs n'étaient-ils pas assez entraînés ? Nous avons préféré utiliser les différences $j - k$ de 1957 pour effectuer le raccordement et nous les avons fait figurer dans les tableaux XVI et XVII.

TABLEAU XVI.

Différences systématiques en rayon (même nuit, même observateur).

On donne pour chaque paire de groupes :

— la date, numéro du mois et jour (années 1956 et 1957);

— l'initiale de l'observateur (*voir* tableau XII);

— la différence des rayons en 0,001.

<i>j-k.</i>				<i>k-l.</i>				<i>l-a.</i>				<i>a-b.</i>				<i>b-c.</i>			
VII	23	G	- 8	VII	26	A	+14	VII	25	G	- 6	IX	20	G	+22	X	21	B	-21
VIII	9	G	-19	VIII	6	A	- 5	VIII	6	A	+ 6		21	B	- 5	XI	5	A	-11
	10	A	-16		7	G	- 8		27	G	- 1		22	G	+ 5		8	G	-18
	11	G	-10		8	A	-17		28	A	+15		23	B	- 6		18	G	-
	16	A	-24		10	A	-10		30	A	-21	X	9	B	+ 1		20	G	-11
					12	A	- 2	IX	12	B	+ 4		10	A	+ 4		21	A	+
					16	A	-15		14	B	- 8		11	B	-15		22	G	+
					18	A	-18		16	G	-26		12	A	+17		30	G	+10
					19	G	+ 1		17	B	0		14	A	+17	I	19	D	-
					30	A	+ 6		19	B	+ 1		16	A	+14		21	D	-
				IX	10	B	+ 6	XI	1	A	+13	XI	5	A	-11				
					19	B	-31		8	A	-24								
<i>c-d.</i>				<i>d-e.</i>				<i>e-f.</i>				<i>f-g.</i>				<i>g-h.</i>			
XI	20	G	+14	XII	30	G	-24	XI	29	D	- 4	II	27	A	+ 7	III	21	A	+ 3
	21	A	+ 7	I	6	A	+ 6		30	A	+ 1	III	2	G	0		22	G	- 2
	22	G	- 3		10	A	+ 3	I	16	A	+10		3	A	-10		29	A	- 8
	30	G	- 4		11	G	- 1		26	A	- 1		4	G	- 4		30	G	- 1
XII	24	G	- 4		12	A	- 2		27	G	-11		11	A	- 9	IV	4	A	- 1
	30	G	- 7		19	G	-22	II	3	A	+14		15	A	+ 2		8	A	- 5
I	6	A	- 4		20	A	+ 1		20	G	+29		20	G	+ 8		11	G	+15
	11	G	+ 2		21	G	- 4		25	A	+ 8		22	G	+ 1		14	A	+ 3
	12	A	-10		22	A	-11		27	A	+16		31	A	+15		21	D	+ 5
	17	G	- 6		27	G	-15		28	G	-10	IV	1	G	- 7	V	1	G	+ 6
	18	A	+ 8	II	4	G	-28	III	1	A	+12		3	D	0		3	G	- 5
	20	A	-13		6	G	- 1						5	G	-15		11	G	- 1
				III	4	D	-15						7	D	+ 7		13	G	- 1
													9	G	- 3				
													14	A	- 2				
<i>h-i.</i>				<i>i-j.</i>				<i>j-k.</i>											
IV	1	D	-28	V	15	A	- 6	VI	11	A	-19								
	3	G	- 8		22	A	+12		12	G	-10								
	5	D	-19		25	G	+10		25	A	+ 6								
	9	D	+ 6		27	G	0		26	G	+14								
	14	A	-11		28	A	+ 9		27	A	+12								
	16	A	-10		29	G	+ 7		28	G	- 2								
V	11	G	- 3		30	A	+ 4	VII	3	A	-11								
	16	D	- 7		31	G	+11		4	G	-10								
	19	G	- 8	VI	1	A	+ 3		5	A	-14								
	21	G	+ 5		5	A	+13		18	G	+13								
	22	A	-18		11	A	+21		19	A	-13								
	28	A	-25		25	A	+ 2												
	30	A	-10		27	A	- 7												
VI	1	A	-14		28	G	- 3												

TABLEAU XVII.

Valeurs moyennes des différences en rayon avec leurs écarts-types.

Groupes.	Différences en 0",01.	Nombre de paires.
<i>j-k</i> (1956).....	— 15,4 ± 4,1	5
<i>k-l</i>	— 6,6 ± 3,6	12
<i>l-a</i>	— 3,9 ± 3,9	12
<i>a-b</i>	+ 8,6 ± 2,8	11
<i>b-c</i>	+ 0,8 ± 4,1	10
<i>c-d</i>	— 1,7 ± 2,3	12
<i>d-e</i>	— 8,4 ± 3,2	13
<i>e-f</i>	+ 9,6 ± 2,7	11
<i>f-g</i>	— 0,7 ± 2,0	15
<i>g-h</i>	+ 5,5 ± 1,8	13
<i>h-i</i>	— 10,7 ± 2,6	14
<i>i-j</i>	+ 5,4 ± 2,1	14
<i>j-k</i> (1957).....	+ 0,4 ± 3,8	11
Erreur de fermeture de <i>k</i> à <i>k</i>	— 1,7 ± 10,4	

En calculant encore les corrections à ajouter pour passer au groupe moyen, on trouve, après équipartition de l'erreur de fermeture :

Groupe.	Correction à ajouter en 0",01.	Groupe.	Correction à ajouter en 0",01.
<i>a</i>	— 7,3	<i>g</i>	+ 1,8
<i>b</i>	+ 1,4	<i>h</i>	+ 7,4
<i>c</i>	+ 2,4	<i>i</i>	— 3,2
<i>d</i>	+ 0,8	<i>j</i>	+ 2,4
<i>e</i>	— 7,4	<i>k</i>	+ 2,9
<i>f</i>	+ 2,3	<i>l</i>	— 3,5

Donnons encore les corrections obtenues pour 1957-1958, en faisant coïncider celles du groupe *k*.

Groupe.	Correction à ajouter en 0",01.	Groupe.	Correction à ajouter en 0",01.
<i>k</i>	+ 2,9	<i>b</i>	+ 7,8
<i>l</i>	— 0,7	<i>c</i>	+ 4,5
<i>a</i>	— 7,0		

L'accord est moins bon que pour les deux autres inconnues : la différence *a* — *b* passe de + 0",066 en 1956 à + 0",148 en 1957, ce qui paraît assez invraisemblable d'après les écarts-types. Néanmoins, ce raccordement est suffisant pour l'étude du catalogue.

Remarques sur le raccordement. — Lorsqu'on avait étudié les résultats du petit astrolabe, on avait trouvé que la latitude pouvait différer de 0",3 suivant les groupes observés. Les observations faites

par la suite ont confirmé ce résultat. Les corrections de latitude, pour l'astrolabe O. P. L. sont beaucoup plus petites. Cela ne doit pas surprendre : le nombre des étoiles des nouveaux groupes est sensiblement plus grand (50 % en plus) et, surtout, la composition des groupes est plus régulière. A cause de la seule erreur du catalogue de la forme $\Delta\alpha_z$, la latitude peut changer sensiblement si l'on modifie la proportion des étoiles observées au Nord-Est et au Nord-Ouest.

La correction de l'horloge est plus affectée que la latitude par le raccordement. En effet, les étoiles sont nombreuses vers les azimuts 45° (Nord-Est) et 315° (Nord-Ouest); ces étoiles ont des déclinaisons voisines de $+60^\circ$ et l'erreur systématique de leurs ascensions droites, de la forme $\Delta\alpha_z$ est considérable dans le FK 3.

Après ce premier cycle d'observations des groupes, nous n'avons eu aucune difficulté à assurer le raccordement. Les erreurs de fermeture se sont trouvées petites. On peut voir sur les tableaux des différences qu'il serait inutile de rechercher une variation des différences entre le soir et le matin. S'il y a des erreurs systématiques dans le procédé d'observations en chaîne, ces erreurs sont certainement très inférieures aux erreurs dues au catalogue, elles apparaîtront peut-être plus tard, dans les moyennes; mais en attendant, les corrections de raccordement gardent toute leur valeur.

Notons enfin que nous n'avons pas tenu compte de la nutation diurne. Cette nutation, ayant pour période le jour sidéral et pour amplitude $0''.018$, affecte d'une façon invariable chaque groupe. Les corrections pour la nutation diurne sont donc incluses dans le raccordement et les résultats en temps et en latitude s'en trouvent, de ce fait, corrigés.

CHAPITRE VI.

LA VARIATION DE LA LATITUDE.

Nous sommes maintenant en possession des corrections de raccordement et nous pouvons étudier la variation de la latitude. Mais les résultats que nous donnerons sont *provisoires*. Le raccordement s'améliorera d'année en année et il peut avoir à subir des retouches non négligeables. Le nombre de groupes observés par nuit claire a été le plus souvent supérieur à 2, il a atteint 5 et même 6. Il s'ensuit que les inexactitudes du raccordement ne peuvent causer que l'introduction de termes à longue période dans la variation de la latitude et surtout d'un terme annuel. Les écarts individuels du raccordement, c'est-à-dire ses rugosités, sont fortement aplanis.

Nous avons dit précédemment qu'il paraissait fort peu probable que l'amplitude de l'erreur annuelle du raccordement dépasse $0''.05$. L'ampli-

tude du pseudo-terme annuel introduit dans la latitude serait un peu réduite, puisque plusieurs groupes sont observés simultanément, et elle est sans doute inférieure à $0'',04$. Le terme annuel de la variation de la latitude a une amplitude voisine de $0'',15$ à Paris, d'après les données du Service International des Latitudes. Après une seule année d'observations les erreurs de raccordement ne sont donc pas négligeables.

Afin de faciliter les analyses futures, je rappelle ici que les seules corrections apportées à la latitude sont :

1. Les corrections de la variation de la distance zénithale pour les premières étoiles de la nuit (tableau VI).

2. Les corrections de raccordement, après équipartition de l'erreur de fermeture, qui comprennent la correction de nutation diurne.

Les réductions sont faites à partir des positions apparentes des *Apparent Places of Fundamental Stars*, ou de positions moyennes en utilisant les mêmes constantes pour la réduction que les A. P. F. S. Les parallaxes sont utilisées lorsque leurs valeurs (selon Schlesinger) dépassent $0'',050$.

On n'a appliqué aucun des nombreux termes correctifs à la latitude tels que déviations de la verticale, corrections à l'aberration pour tenir compte des mouvements de Jupiter et Saturne, termes complémentaires de la nutation, effet relativiste de la courbure des rayons lumineux. On n'a pas corrigé les valeurs de la latitude pour tenir compte de l'erreur dk de la constante de l'aberration : la correction, qui s'annule au voisinage de minuit, est toujours petite. L'application de ces corrections ne présentera d'intérêt que lors de la discussion d'ensemble des résultats obtenus pendant un grand nombre d'années.

Si l'on fait les moyennes des latitudes instantanées pour des périodes de durée constante, d'un mois, par exemple, ces moyennes comprennent un nombre très variable d'observations et les points qu'on porterait sur le graphique de la variation de la latitude seraient de valeur très inégale. Nous avons préféré faire des moyennes s'étendant sur des périodes de longueur variable, de sorte que la somme des poids reste égale pour chaque période. Les poids utilisés sont ceux que nous avons donnés à propos du raccordement des groupes. Cette méthode facilite le tracé de la courbe lissée et l'on voit immédiatement les périodes où les observations ont été clairsemées. La somme des poids, constante, a été prise égale à 40 (ou 41, 42, 43), ce qui représente au moins 10 séries par moyenne.

Ces moyennes brutes sont données dans le tableau XVIII. Les points obtenus sont portés sur le graphique de la figure 11. De la courbe tracée à vue par ces points, on déduit les valeurs adoucies suivantes de la latitude instantanée (tableau XIX).

TABLEAU XVIII.

Moyennes de poids égaux des latitudes instantanées.

	Période.	Date moyenne.	Somme des poids.	Nombre de séries.	Moyenne des latitudes.
1936	VII 11-VIII 8.....	1956,57	41	16	48° 50' 09",29
	VIII 9-VIII 19.....	61	42	17	09,26
	VIII 19- IX 14.....	67	41	19	09,18
	IX 14- IX 23.....	71	43	17	09,20
	IX 23- X 16.....	77	40	13	09,15
	X 17- XI 8.....	83	42	15	09,09
	XI 9- XI 22.....	88	41	11	09,01
	XI 22- XII 17.....	91	42	12	09,00
	XII 18- I 10.....	1957,00	43	13	08,95
	I 11- I 17.....	03	40	10	08,92
1937	I 17- I 21.....	05	41	11	08,94
	I 21- II 2.....	07	42	12	08,96
	II 3- II 25.....	12	40	11	08,98
	II 26- III 4.....	16	41	11	09,01
	III 4- III 16.....	19	41	11	09,07
	III 17- III 29.....	22	42	11	09,12
	III 29- IV 2.....	24	42	11	09,13
	IV 2- IV 7.....	26	40	14	09,17
	IV 7- IV 14.....	27	40	12	09,22
	IV 14- V 3.....	31	43	14	09,23
	V 3- V 13.....	35	41	12	09,30
	V 13- V 25.....	38	41	15	09,32
	V 26- V 31.....	41	41	12	09,30
	V 31- VI 11.....	42	40	11	09,33
	VI 12- VI 28.....	47	43	15	09,38
	VI 28- VII 24.....	52	41	15	09,40
	VII 25-VIII 12.....	59	42	17	09,43
	VIII 13- IX 19.....	68	40	17	09,44
	IX 20- X 1.....	73	40	13	09,41
	X 2- X 5.....	75	42	13	09,38
	X 5- X 9.....	76	40	11	09,37
	X 9- X 13.....	77	41	11	09,36
	X 14- X 26.....	80	41	13	09,31
	X 27- XII 1.....	88	40	12	09,18
	XII 1- XII 3.....	92	40	11	09,09
	XII 3- I 3.....	94	41	15	09,07
1938	I 4- I 23.....	1958,04	42	13	08,97

Pour rechercher s'il existe des erreurs personnelles, on fait les moyennes des écarts à la courbe lissée, séparément pour les observateurs ayant travaillé pendant une période commune. On trouve ainsi que les lati-

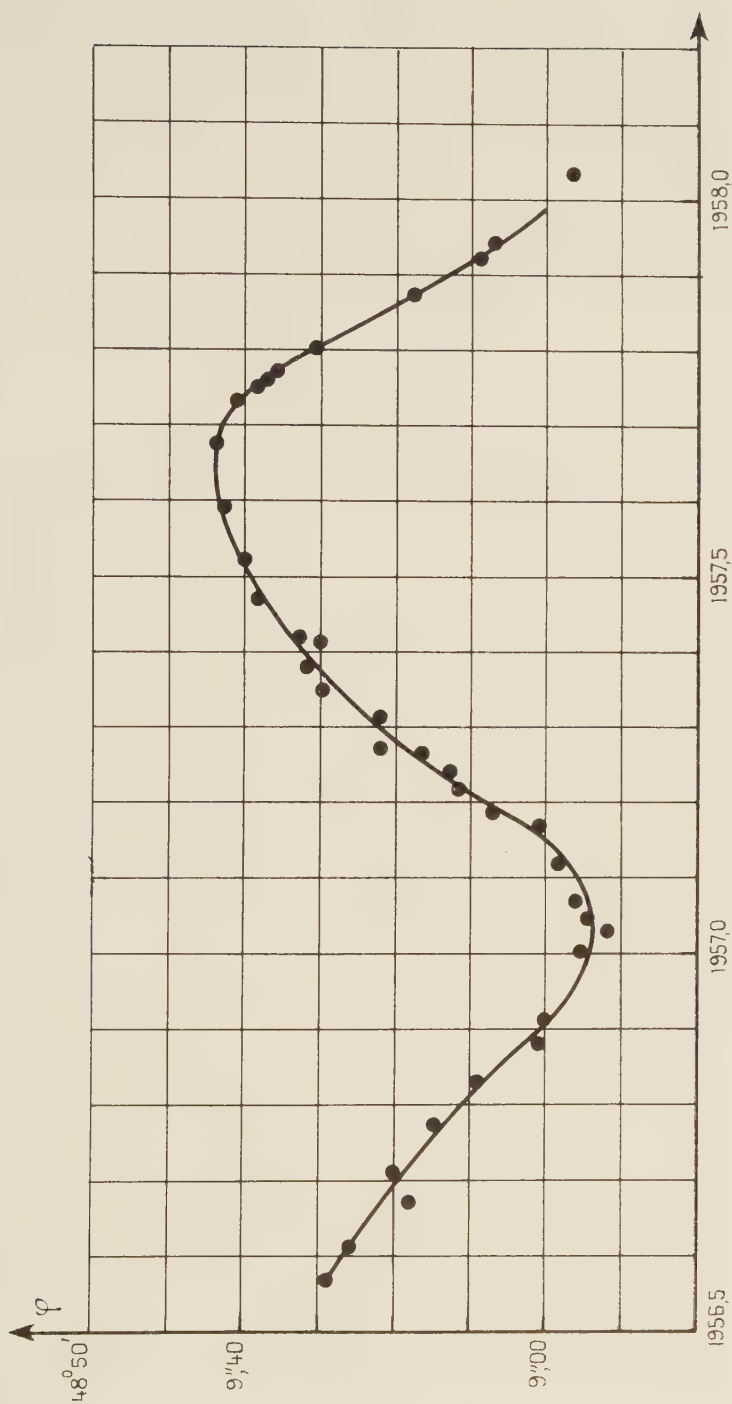


Fig. 11. — Variation de la latitude de l'astrolabe.

tudes obtenues par MM. Arbey et Guinot diffèrent très peu :

$$\varphi_{\text{Arbey}} - \varphi_{\text{Guinot}} = - 0''.014.$$

Il n'y a pas lieu de tenir compte de cet écart faiblement significatif.

TABLEAU XIX.

Variation de la latitude de l'astrolabe (valeurs lissées).

Date.	Latitude.	Date.	Latitude.	Date.	Latitude.
1956,60...	48°50' 09",27	1957,10...	48°50' 08",96	1957,60...	48°50' 09",43
65...	23	15...	09,01	65...	44
70...	19	20...	08	70...	43
75...	15	25...	16	75...	39
80...	11	30...	23	80...	31
85...	06	35...	28	85...	22
90...	00	40...	33	90...	13
95...	08,97	45...	36	95...	05
1957,00...	94	50...	39	1958,00...	00
05...	94	55...	40		

Les écarts à la courbe lissée montrent aussi que l'écart-type d'une mesure est 0'',073 en moyenne (jusqu'au 30. novembre 1957). On avait trouvé, d'après l'accord interne, que la valeur la plus fréquente de l'écart-type était 0'',05, pour un observateur entraîné et une série complète. Mais les groupes utilisés pour la mesure de la variation de la latitude ne sont pas tous complets et plusieurs observateurs ont fait leurs débuts, de sorte qu'on trouve, en moyenne, pour l'accord interne des séries, un écart-type de 0'',062. L'accord externe est légèrement moins bon que l'accord interne.

Les moyennes hebdomadaires de la latitude sont envoyées au Bureau Central du Service International des Latitudes, pour contribuer aux travaux du Service Rapide des Latitudes. Comme il n'était pas possible de connaître la réduction au groupe moyen dès le début des observations, les résultats envoyés diffèrent très légèrement de ceux publiés ici.

Les programmes d'observations à la lunette zénithale des latitudes doivent être renouvelés périodiquement : lorsque, par suite de la précession, la dissymétrie de la répartition des étoiles par rapport au zénith devient trop accusée, les résultats sont affectés par les erreurs sur le tour de vis du micromètre. Il faut aussi renouveler les programmes des lunettes photographiques zénithales, car les étoiles sortent du champ. Pour ces deux instruments, seuls les groupes qui passent à 6 h ou 18 h sidérales peuvent être indéfiniment conservés. Il en résulte une grande perte d'information pour étudier les mouvements séculaires du pôle moyen [17], car on ne peut utiliser que les observations du S. I. L. lorsque les stations ont observé simultanément le même programme.

Les trajectoires du pôle moyen déduites des stations isolées présentent des points de rebroussement par suite des erreurs des mouvements propres des étoiles.

Nous avons montré que le programme de l'astrolabe pouvait être conservé pendant très longtemps : on peut choisir les étoiles pour que, en dépit du brassage des temps de passage produit par la précession, les groupes soient observables pendant une quarantaine d'années. Les azimuts changent progressivement, mais cet effet n'est pas sensible sur les résultats. L'astrolabe apportera donc une contribution importante à l'étude des mouvements séculaires du pôle.

CHAPITRE VII.

L'AMÉLIORATION DES CATALOGUES D'ÉTOILES PAR LES OBSERVATIONS FAITES AVEC L'ASTROLABE.

Jusqu'à ce chapitre, nous nous étions préoccupés des erreurs de catalogue pour les éliminer des résultats. Mais ces erreurs apparaissent avec une telle netteté dans l'accord interne, comme dans le raccordement des groupes, que nous avons cherché à les utiliser pour améliorer le catalogue d'étoiles.

Erreurs systématiques en fonction de la déclinaison. — Nous avons montré, dans un Mémoire antérieur [14], que ces erreurs pouvaient se déduire du seul accord interne des groupes, sans qu'on ait à introduire leur raccordement. Nous avons appliqué notre méthode aux observations faites avec le petit astrolabe et réduites avec le FK 3.

Les résultats de l'astrolabe O. P. L. peuvent être exploités de la même manière. Nous avons conservé les résidus des étoiles du FK 3 Supp, car les positions de ces étoiles, prises dans des catalogues autres que le FK 3, ont été ramenées au système FK 3 par l'application de corrections systématiques.

Nous donnons dans le tableau XX, l'erreur $\Delta\alpha_0$ du FK 3 obtenue avec l'astrolabe O. P. L. et son écart-type. Nous rappelons les résultats acquis antérieurement avec le petit astrolabe (*fig. 12*).

Bien que les étoiles observées avec les deux instruments soient pour la plupart différentes, l'accord des deux séries de mesures est excellent. Les valeurs de $\Delta\alpha_0$ ne sont, rappelons-le, définies qu'à une constante près. Cette constante, qui dépend de la constitution des groupes, peut différer pour les deux astrolabes. Nous avons donné ici les résultats bruts du calcul. Les écarts-types restent sensiblement les mêmes pour les deux mesures. La part prépondérante de la dispersion est due, en effet,

aux erreurs individuelles des positions des étoiles et les deux programmes contiennent des nombres voisins de passages.

TABLEAU XX.
Erreur $\Delta\alpha_{\delta}$ du FK 3.

δ .	$\Delta\alpha_{\delta}$ (Astrolabe-FK 3).			
	Astrolabe O. P. L. 1957.		Petit astrolabe 1954.	
+ 73°.....	+ 0,029 $\pm$ 0,009		+ 0,032 $\pm$ 0,007	
69.....	+	19 4	+	21 4
60.....	+	10 2	+	12 3
50.....	+	1 3	—	1 2
41.....	—	6 2	—	3 2
33.....	—	4 3	—	2 2
26.....	—	5 2	—	2 3
23.....	—	6 3	+	1 3

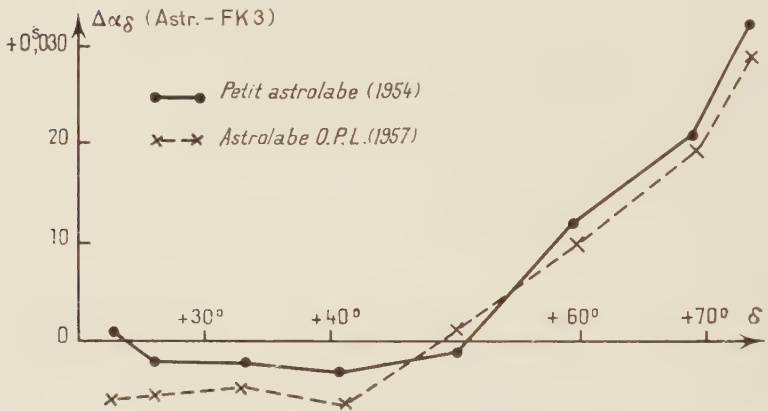


Fig. 12. — Erreur $\Delta\alpha_{\delta}$ du FK 3.

L'erreur $\Delta\delta_{\delta}$ peut s'obtenir aussi, mais avec une réserve : on peut admettre que cette erreur est définie à une constante près si l'ensemble des déclinaisons de la zone étudiée n'a pas de grande erreur systématique (supérieure à 0",2, par exemple). Les résultats sont les suivants (tableau XXI).

Ici encore, l'accord est satisfaisant : l'erreur $\Delta\delta_{\delta}$ n'est significative pour aucun des deux instruments.

Ces erreurs, fonctions de la déclinaison, se traduisent par un écart systématique des résidus en fonction de l'azimut. A cause de l'erreur $\Delta\alpha_{\delta}$, par exemple, les résidus des étoiles observées dans le Nord-Est sont positifs, tandis que ceux des étoiles observées dans le Nord-Ouest sont négatifs. Les résultats des cinq observateurs du petit astrolabe avaient

montré que cet effet n'était pas personnel, la confirmation des résultats par l'astrolabe O. P. L. montre qu'il n'est pas instrumental.

TABLEAU XXI.
Erreur $\Delta\delta_{\odot}$ du FK 3.

δ .	$\Delta\delta_{\odot}$ (Astrolabe-FK 3).				
	Astrolabe O. P. L. 1957.		Petit astrolabe 1954.		
+ 73°.....	0,00 $\pm$ 0,06		+ 0,03 $\pm$ 0,05		
69.....	—	1 10	+	8	7
60.....	—	—	—	—	—
50.....	—	6 10	—	9	8
41.....	+	9 6	+	3	4
33.....	—	0 3	+	5	3
26.....	—	5 2	+	3	3
23.....	—	0 2	—	2	2

Les observations de l'Année Géophysique Internationale, auxquelles participent 15 astrolabes, étendront la mesure de ces erreurs à une très large zone de déclinaisons; mais il n'y a pas, malheureusement, de station boréale qui permette de se rapprocher beaucoup plus du pôle qu'on ne le fait à Paris. Quant aux stations australes, elles sont toutes de latitude peu élevée.

Positions individuelles de quelques étoiles. — Dans le Mémoire déjà cité [14], nous avons donné les conditions à remplir pour obtenir des positions individuelles d'étoiles à partir des résidus des observations. Rappelons qu'il fallait d'abord que les deux passages des étoiles aient été observés et que, ensuite, tous les groupes qui contenaient ces passages aient été raccordés entre eux en ce qui concerne les trois inconnues à déterminer par l'observation astronomique. L'utilité de ce raccordement est de ramener tous les résidus à la même origine. Les ascensions droites sont obtenues à une constante près. Mais nous avons montré que, en toute rigueur, il n'était pas possible d'obtenir les déclinaisons. Cependant, si l'on admet que l'erreur moyenne des déclinaisons de toutes les étoiles observées est petite, supposition que nous avons déjà faite au sujet de l'erreur $\Delta\delta_{\odot}$, les déclinaisons peuvent être, elles aussi, considérées comme déterminées à une constante près.

Il faut d'abord choisir un groupe de référence. Nous ramènerons les résidus au groupe fictif que nous avons appelé groupe moyen. Soit $d\Delta T_n$ la correction à ajouter à la correction de l'horloge fournie par le groupe a et $dx_n = \cos \varphi d\Delta T_n$, soient dy_n et dR_n les corrections correspondantes pour la latitude et le rayon; les résidus par rapport au groupe moyen sont obtenus en ajoutant aux résidus du groupe a les corrections

$$dr_a = dx_a \sin Z + dy_a \cos Z - dR_a,$$

Z étant l'azimut. Le tableau VII donne ces résidus pour tous les passages observés, ils sont désignés par $\mathcal{N}$.

Appelons $\mathcal{N}_E$ et $\mathcal{N}_W$ les résidus d'une même étoile suivant qu'elle est observée à l'Est ou à l'Ouest. On a

$$\Delta\alpha(\text{Astr.} - \text{Catal.}) = \frac{\mathcal{N}_E - \mathcal{N}_W}{2 \times |\sin Z| \cos \varphi},$$

$$\Delta\delta(\text{Astr.} - \text{Catal.}) = - \frac{\mathcal{N}_E + \mathcal{N}_W}{2 \cos S},$$

S représentant l'angle à l'astre.

Le tableau XXII donne les résidus $\mathcal{N}$ pour les 58 étoiles à double passage, les éléments du calcul de $\Delta\alpha$ et $\Delta\delta$ et, finalement, $\Delta\alpha$ et $\Delta\delta$.

TABLEAU XXII.

Calcul des corrections aux positions de quelques étoiles du FK 3 et du FK 3 Supp.
(Les étoiles du FK 3 Supp sont désignées par leur numéro GC).

		(Astr. — FK 3) 1957							
N ^o .	Groupes.	$\mathcal{N}_E$	$\mathcal{N}_W$	$15 \sin Z$	$\cos S$.	$\mathcal{N}_E - \mathcal{N}_W$	$\mathcal{N}_E + \mathcal{N}_W$	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$
		en 0 ^o ,01.	en 0 ^o ,01.	$\times \cos \varphi$.		en 0 ^o ,01.	en 0 ^o ,01.	en 0 ^o ,001.	en 0 ^o ,01
27.....	a-b	+ 3,0	+14,9	6,6	+0,88	-11,9	+17,9	- 9	-10
GC 1136..	a-b	+10,9	+ 6,4	6,1	+ 90	+ 4,5	+17,3	+ 4	-10
42.....	l-c	-27,6	+ 7,4	9,6	+ 62	-35,0	-20,2	- 18	+16
1032...	a-b	+13,6	+28,7	4,3	+ 95	-15,1	+42,3	- 18	-22
46.....	l-c	+ 9,8	-20,4	5,4	- 26	+30,2	-10,6	+ 28	-20
1068...	a-c	+20,4	-14,4	8,6	+ 75	+34,8	+ 6,0	+ 20	- 4
87.....	a-d	+32,4	-56,4	3,9	- 49	+88,8	-24,0	+114	-24
89.....	b-c	+ 9,2	+ 3,6	5,2	+ 93	+ 5,6	+12,8	+ 5	- 7
1089...	b-c	- 7,0	- 2,7	4,4	+ 95	- 4,3	- 9,7	- 5	+ 5
GC 3759..	a-d	+19,4	-10,3	3,3	- 58	+29,7	+ 9,1	+ 45	+ 8
1094...	b-c	-24,1	-20,7	4,5	+ 95	- 3,4	-44,8	- 4	+24
122....	a-d	- 8,9	+11,2	7,6	+ 02	-20,1	+ 2,3	- 13	-
144....	b-d	-12,6	+ 7,0	9,1	+ 70	-19,6	- 5,6	- 11	+ 4
174....	c-d	+ 7,2	+14,8	5,9	+ 90	- 7,6	+22,0	- 6	-12
175....	b-e	- 0,2	+20,0	8,2	+ 11	-20,2	+19,8	- 12	-
182....	b-e	- 2,6	+20,7	7,4	0	-23,3	+18,1	- 15	-
GC 6259..	c-d	+ 2,9	-10,2	3,8	+ 97	+13,1	- 7,3	+ 17	+ 4
GC 6288..	b-e	+24,0	-14,9	3,4	- 58	+38,9	+ 9,1	+ 57	+ 8
GC 6336..	b-e	-29,1	+35,4	9,9	+ 46	-64,5	+ 6,3	- 33	- 7
211....	c-d	-26,0	-16,2	4,6	+ 95	- 9,8	-42,2	- 11	+22
GC 8826..	c-f	+ 4,1	+ 4,5	8,1	+ 9	- 0,4	+ 8,6	0	-
GC 8965..	d-e	+15,5	0,0	5,2	+ 92	+15,5	+15,5	+ 15	- 8
279....	d-e	+ 4,6	+12,1	5,4	+ 92	- 7,5	+16,7	- 7	- 9
296....	d-f	-27,6	+27,9	9,4	+ 66	-55,5	+ 0,3	- 30	0
GC 12496.	e-f	+13,9	+11,4	6,9	+ 85	+ 2,5	+25,3	+ 2	-15

TABLEAU XXII (*suite et fin*).

(Astr. — FK3) 1957.

N ^o .	Groupes.	M_E	M_W	$15 \sin Z$	$\cos S.$	$M_E - M_W$	$M_E + M_W$	$\Delta \alpha$	$\Delta \delta$
		en 0 ^h ,01.	en 0 ^h ,01.	$\times \cos \varpi.$		en 0 ^h ,01.	en 0 ^h ,01.	en 0 ^h ,001.	en 0 ^h ,01.
1239...	<i>e-f</i>	-10,0	-16,2	5,5	+ 92	+ 6,2	-26,2	+ 6	+14
335...	<i>d-g</i>	+33,2	-22,4	6,7	- 1	+55,6	+10,8	+ 42	-
338...	<i>d-g</i>	+ 8,0	-10,4	9,0	+ 23	+18,4	- 2,4	+ 10	+ 5
371...	<i>e-g</i>	+14,5	+ 4,2	7,6	+ 83	+10,3	+18,7	+ 7	-11
GC 14086.	<i>e-g</i>	- 9,5	-13,1	8,6	+ 74	+ 3,6	-22,6	+ 2	+15
405...	<i>f-g</i>	- 1,4	+14,4	6,3	+ 89	-15,8	+13,0	- 13	- 7
403...	<i>e-h</i>	+33,9	-25,4	5,0	- 32	+59,3	+ 8,5	+ 59	+13
422...	<i>f-g</i>	-15,4	-14,2	4,2	+ 95	- 1,2	-29,6	- 1	+15
1318...	<i>f-h</i>	+ 0,2	+19,0	7,6	+ 83	-18,8	+19,2	- 12	-12
472...	<i>f-i</i>	0,0	+13,1	4,8	- 36	-13,1	+13,1	- 13	+18
GC 17225.	<i>g-h</i>	- 7,3	+ 2,8	4,8	+0,95	-10,1	- 4,5	- 11	+ 2
500...	<i>f-i</i>	- 6,2	+ 8,7	7,5	0	-14,9	+ 2,5	- 10	-
550...	<i>g-j</i>	- 2,4	- 2,4	3,2	- 60	0,0	- 4,8	0	- 4
1397...	<i>g-j</i>	- 2,0	+ 4,6	8,6	+ 16	- 6,6	+ 2,6	- 4	-
1396...	<i>h-i</i>	-37,3	-19,7	7,1	+ 85	-17,6	-57,0	- 12	+34
618...	<i>i-j</i>	- 5,3	+ 4,6	5,0	+ 93	- 9,9	- 0,7	- 10	0
627...	<i>h-k</i>	- 8,9	-10,7	8,2	+ 10	+ 1,8	-19,6	+ 1	-
1440...	<i>i-j</i>	+ 5,8	+47,6	7,0	+ 86	-41,8	+53,4	- 30	-31
639...	<i>h-k</i>	-25,3	+21,8	6,1	- 18	-47,1	- 3,5	- 39	-
714...	<i>i-l</i>	-14,4	- 3,4	4,4	- 42	-11,0	-17,8	- 12	-21
1515...	<i>j-l</i>	+ 0,4	- 6,9	7,4	+ 84	+ 7,3	- 6,5	+ 5	+ 4
1521...	<i>j-l</i>	-14,5	- 3,5	9,6	+ 63	-11,0	-18,0	- 6	+14
759...	<i>j-l</i>	+ 5,8	-12,4	1,63	- 86	+18,2	- 6,6	+ 56	- 4
1539...	<i>k-l</i>	+13,7	- 4,0	4,5	+ 95	+17,7	+ 9,7	+ 20	- 5
803...	<i>j-a</i>	+ 3,5	+ 1,0	6,9	- 6	+ 2,5	+ 4,5	+ 2	-
809...	<i>j-a</i>	-34,2	+18,3	4,7	- 37	-52,5	-15,9	- 56	-21
1575...	<i>k-a</i>	+23,7	+ 4,2	8,8	+ 74	+19,5	+27,9	+ 11	-18
852...	<i>k-b</i>	-17,7	+10,1	9,9	+ 54	-27,8	- 7,6	- 14	+ 7
859...	<i>l-a</i>	- 0,2	- 4,3	6,2	+ 89	+ 4,1	- 4,5	+ 3	+ 3
863...	<i>k-b</i>	- 2,0	- 1,2	6,0	- 19	- 0,8	- 3,2	- 1	-
869...	<i>k-b</i>	+ 5,9	+29,9	9,9	+ 47	-24,0	+35,8	- 12	-38
881...	<i>l-a</i>	+ 8,7	+14,7	6,1	+ 90	- 6,0	+23,4	- 5	-13
893...	<i>l-b</i>	+31,5	- 7,8	1,75	- 84	+39,3	+23,7	+112	+14

Les écarts-types de ces coordonnées sont difficiles à évaluer et l'on ne pourra être fixé avec précision sur leurs valeurs qu'après avoir refait ce catalogue indépendamment pendant quelques années. Toutefois, afin d'en fixer l'ordre de grandeur, nous donnons des valeurs sans doute très exagérées de ces écarts-types (tableau XXIII). La précision des

déclinaisons, maximum pour les étoiles circummériidiennes, décroît lorsqu'on s'approche de la déclinaison qui correspond à la plus grande digression des polaires à la distance zénithale de 30° ($\hat{\gamma} = + 60^{\circ}$). On n'a pas donné les déclinaisons lorsque $\cos S$ était inférieur à 0,20.

TABLEAU XXIII.

Écarts-types des coordonnées du catalogue « astrolabe »
(valeurs approximatives).

δ	$+ 20^{\circ}$.	22° .	30° .	40° .	50° .	60° .	68° .	70° .	75° .	77° .	78° .
$\sigma_{\alpha}(0^{\circ},001)$	20	11	7	6	7	8	11	13	20	30	45
$\sigma_{\delta}(0^{\circ},01)$	6	7	8	12	20	—	22	17	9	7	7

Recherchons quelles sont les erreurs systématiques qui peuvent affecter ce petit catalogue, à l'exception des erreurs constantes en ascension droite et en déclinaison : ce catalogue n'est évidemment qu'un lissage du FK 3 et non un catalogue absolu.

Nous avons montré, au début de ce Mémoire, que les résidus étaient indépendants de la magnitude et du type spectral des étoiles : notre catalogue ne présente donc pas d'erreurs en fonction de la magnitude et de la couleur.

On a vu que l'organisation et l'interprétation des observations éliminaient les erreurs personnelles du raccordement. D'autre part, on n'a pas décelé d'effet personnel dans l'accord interne des groupes. Ainsi, les erreurs personnelles n'interviennent aucunement dans le catalogue.

Quant aux erreurs instrumentales, il ne peut y en avoir. La distance zénithale est fixée uniquement par l'angle du prisme de l'astrolabe; les observations se font dans les mêmes conditions quel que soit l'azimut de l'étoile et l'appareil garde la même position par rapport à la pesanteur.

L'erreur $\Delta\alpha_x$ de notre catalogue ne peut provenir que du raccordement. Elle est pratiquement constante pour un fuseau d'ascensions droites donné, quelle que soit la déclinaison. Son amplitude est sans doute inférieure à $0^{\circ},005$. De même l'erreur $\Delta\delta_x$ dépend du raccordement; elle a une amplitude qui est probablement inférieure à $0^{\circ},05$. Pour ce qui est de l'élimination de ces erreurs, fonctions de l'ascension droite, qui se fait par raccordement, il nous paraît utile de signaler que lorsque deux ou trois groupes d'étoiles sont observés la même nuit, on balaye 10 ou 12 heures d'ascensions droites.

Nous avons vu, dans le paragraphe précédent, que seules les erreurs d'observation en fonction de l'azimut pourraient apporter des erreurs en fonction de la déclinaison dans notre catalogue. Nous avons montré que de telles erreurs n'avaient pu être décelées jusqu'à présent.

Les erreurs systématiques déjà très petites, dues au raccordement, iront en s'amenuisant, si, toutefois, le raccordement n'est pas faussé par l'existence de réfractions zénithales. Ces réfractions existent sans doute,

mais nous ne sommes pas fixés quant à leur ordre de grandeur et nous ignorons presque tout de leurs variations. D'après nos observations, il semble que ces réfractions doivent être petites : il faudrait admettre qu'elles aient une forme bien compliquée pour qu'elles ne donnent pas d'équations de fermeture pour les trois inconnues, tout en étant grandes par rapport aux erreurs d'observation.

Le catalogue « astrolabe » paraît donc n'avoir que des erreurs systématiques très réduites, mais avant d'interpréter les résultats obtenus, remarquons qu'on peut calculer les ascensions droites des étoiles observées à un seul de leurs passages, lorsque celui-ci a lieu au voisinage du maximum de digression. On a en effet

$$(7) \quad \Delta\alpha(\text{Astr.} - \text{Catal.}) = \frac{\mathcal{N}}{\sin Z \cos \varphi} + \frac{\cos S}{\sin Z \cos \varphi} \Delta\delta.$$

Lorsque $\cos S$ est voisin de zéro, on peut négliger le terme en $\Delta\delta$. On a appliqué cette méthode à la zone des déclinaisons de $+54^\circ$ à $+64^\circ,5$, pour laquelle la valeur absolue de $\frac{\cos S}{\sin Z}$ est inférieure à $0,2$. Une erreur de $0'',30$ sur la déclinaison n'entraînerait, au maximum, qu'une erreur de $0'',006$ sur l'ascension droite; or, une telle erreur sur δ est peu probable, on peut voir dans le tableau XXII qu'il n'en figure que 3 pour 47 étoiles et que la plus grande est de $0'',38$. Le tableau XXIV donne les éléments du calcul et les corrections aux ascensions droites du FK 3 (ou du FK 3 Supp) pour les 45 étoiles de cette zone qui sont observées dans le programme. Ces corrections sont exprimées dans le même système que celles des 58 étoiles à double passage.

TABLEAU XXIV.

Corrections aux ascensions droites des étoiles observées au voisinage de leur plus grande digression.

(Les étoiles FK 3 Supp sont désignées par leur numéro GC).

N ^o .	Groupe.	$\mathcal{N}$ en $0'',01$.	$15 \sin Z \cos \varphi$.	1957.
				$\Delta\alpha(\text{Astr.} - \text{Catal.})$ en $0'',001$.
GC 94.....	<i>c</i>	— 34,2	— 6,54	+ 52
16.....	<i>c</i>	— 33,8	— 6,86	+ 49
32.....	<i>c</i>	— 36,8	— 7,39	+ 50
1030.....	<i>c</i>	— 24,0	— 8,56	+ 28
63.....	<i>l</i>	+ 26,1	+ 6,67	+ 39
1034.....	<i>l</i>	+ 10,1	+ 8,63	+ 12
GC 2836.....	<i>d</i>	— 5,1	— 8,39	+ 6
99.....	<i>a</i>	— 18,1	+ 8,38	— 22
1096.....	<i>d</i>	— 34,7	— 6,42	+ 54
129.....	<i>a</i>	+ 2,2	+ 6,77	+ 3

TABLEAU XXIV (*suite et fin*).

N ^o .	Groupe.	$\Delta\alpha$ en 0 ^h ,01.	15 sin Z cos φ .	1957.
				$\Delta\alpha$ (Astr. - Catal.) en 0 ^h ,001.
GC 4838.....	<i>e</i>	— 33,6	— 7,71	+ 44
4137.....	<i>b</i>	+ 15,7	+ 8,38	+ 19
237.....	<i>f</i>	— 8,3	— 7,71	+ 11
GC 9581.....	<i>c</i>	+ 32,7	+ 7,56	+ 43
280.....	<i>c</i>	+ 46,4	+ 8,44	+ 55
292.....	<i>c</i>	+ 36,9	+ 7,76	+ 48
317.....	<i>g</i>	— 15,3	— 7,30	+ 21
GC 12646.....	<i>g</i>	— 10,5	— 6,61	+ 16
GC 12761.....	<i>d</i>	+ 16,1	+ 8,64	+ 19
398.....	<i>h</i>	— 2,9	— 8,07	+ 4
446.....	<i>h</i>	+ 2,1	— 8,21	— 3
447.....	<i>e</i>	+ 2,1	+ 7,04	+ 3
GC 15875.....	<i>h</i>	— 13,7	— 8,50	+ 16
447.....	<i>e</i>	+ 10,9	+ 8,69	+ 13
436.....	<i>i</i>	— 0,6	— 8,08	+ 1
GC 16985.....	<i>i</i>	— 16,4	— 8,33	+ 20
467.....	<i>i</i>	+ 1,0	— 7,80	— 1
GC 18504.....	<i>f</i>	+ 7,0	+ 8,52	+ 8
GC 19742.....	<i>g</i>	+ 0,1	+ 8,64	0
571.....	<i>g</i>	+ 18,9	+ 7,69	+ 25
598.....	<i>k</i>	— 11,7	— 7,79	+ 15
GC 22398.....	<i>k</i>	— 34,8	— 8,30	+ 42
685.....	<i>l</i>	— 18,8	— 6,43	+ 29
GC 25362.....	<i>i</i>	+ 0,2	+ 8,13	0
GC 26475.....	<i>l</i>	— 15,9	— 8,17	+ 19
738.....	<i>a</i>	+ 5,7	— 8,23	— 7
767.....	<i>a</i>	+ 5,0	— 6,82	— 7
782.....	<i>j</i>	+ 2,2	+ 8,05	+ 3
783.....	<i>a</i>	+ 17,9	— 7,11	— 25
1372.....	<i>j</i>	— 17,9	+ 7,29	— 25
830.....	<i>b</i>	+ 10,8	— 6,89	— 16
836.....	<i>b</i>	— 1,0	— 7,93	+ 1
853.....	<i>b</i>	— 7,4	— 6,70	+ 11
882.....	<i>b</i>	— 13,0	— 7,02	+ 19
899.....	<i>k</i>	+ 4,6	+ 8,08	+ 6

On peut calculer, d'une façon analogue, les déclinaisons de quelques étoiles circumméridiennes à un seul passage en négligeant le terme en $\Delta\alpha$. Ce procédé ne peut s'appliquer qu'aux étoiles observées au Sud, car les grandes corrections en ascension droite des étoiles circumméridiennes

diennes Nord entacheraient le résultat d'erreur. L'erreur qu'on commettrait, si l'erreur sur l'ascension droite était de $0^s,030$, ce qui arrive très rarement, serait de $0'',14$ pour $\delta = +21^\circ$, de $0'',10$ pour $\delta = +20^\circ$. On obtient ainsi les corrections aux déclinaisons de 12 étoiles supplémentaires (tableau XXV).

TABLEAU XXV.

Corrections aux déclinaisons des étoiles circumméridiennes Sud.

(Les étoiles FK 3 Supp sont désignées par leur numéro GC).

N ^o .	Groupe.	α en $0^h,01$.	cos S.	1957. $\Delta\delta$ (Astr.—Catal.)
				en $0'',01$.
66.....	<i>b</i>	— 7,4	+ 0,96	+ 8
1173.....	<i>d</i>	— 24,6	97	+ 25
269.....	<i>e</i>	— 5,8	96	+ 6
GC 10707.....	<i>e</i>	+ 14,4	97	— 15
GC 15162.....	<i>f</i>	— 14,6	96	+ 15
1304.....	<i>g</i>	— 19,0	96	+ 20
466.....	<i>h</i>	+ 21,7	94	— 23
1400.....	<i>i</i>	+ 0,3	95	0
GC 22802.....	<i>i</i>	— 19,8	95	+ 21
1463.....	<i>j</i>	— 52,4	96	+ 55
703.....	<i>j</i>	+ 2,7	96	— 3
GC 26369.....	<i>k</i>	— 8,0	94	+ 9

Comparaisons entre le catalogue « astrolabe » et d'autres catalogues. — Étudions les 103 ascensions droites obtenues au moyen de l'astrolabe : leur nombre est trop petit pour rechercher l'erreur $\Delta\alpha$ du FK 3 par des moyennes, mais une représentation graphique en fonction des coordonnées des étoiles est intéressante. Nous avons porté (*fig. 13*, dépliant, face à la page 64) en abscisse les ascensions droites, en ordonnée, les déclinaisons. Sur cette carte du ciel, les étoiles sont représentées par des cercles de diamètre proportionnel à $\Delta\alpha$. Les cercles sont noirs quand $\Delta\alpha$ est positif, blancs quand $\Delta\alpha$ est négatif. Quand $|\Delta\alpha|$ est inférieur à $0^s,005$, les étoiles sont représentées par des croix. Le résultat est remarquable. Pour les étoiles de déclinaison comprise entre $+20^\circ$ et $+30^\circ$, $\Delta\alpha$ semble réparti au hasard et est toujours petit (sauf pour l'étoile n^o 1440 qui a aussi une forte correction en déclinaison). Au-delà de $\delta = +55^\circ$, on voit apparaître les cercles de grand diamètre. $\Delta\alpha$ est fortement positif, en général, comme le laissait présager l'erreur $\Delta\alpha_s$, mais dans un large fuseau d'ascensions droites, de 11 h à 23 h, on ne trouve que des corrections petites. Ces quelques étoiles laissent donc soupçonner une erreur $\Delta\alpha_x$ considérable aux déclinaisons supérieures à $+55^\circ$. Par analogie avec les observations méridiennes, on pourrait croire que les valeurs élevées de $\Delta\alpha$ aux grandes déclinaisons et leur dispersion sont dues au fait que

l'écart angulaire n'est que $\Delta\alpha \cos \delta \left(\frac{\Delta\alpha}{3} \text{ pour } \delta = +70^\circ \right)$. Il n'en est rien, la précision des ascensions droites d'après l'astrolabe ne dépend que de l'azimut; elle est la même, par exemple, dans la zone de déclinaisons de $+20^\circ$ à $+22^\circ$ que dans la zone de $+68^\circ,5$ à $+73^\circ$. Or, on constate que les écarts vers $\delta = +21^\circ$ sont petits, les grands écarts des hautes déclinaisons sont bien dus au catalogue.

Nous avons déjà montré que le catalogue N 30 [18] était en accord avec les résultats de l'astrolabe au sujet de l'erreur $\Delta\alpha_\delta$. En est-il de même pour l'erreur $\Delta\alpha_x$? En faisant usage des tableaux de comparaison FK 3-N 30 de H. Nowacki [19], nous avons trouvé les différences $\Delta\alpha$ (FK 3-N 30) suivantes (en faisant coïncider les deux catalogues pour $\delta = +20^\circ$) :

$\Delta\alpha$, N 30-FK 3, pour 1957 (en 0^s.001).

δ .				δ .			
$\alpha(h)$.	$+20^\circ$.	$+60^\circ$.	$+70^\circ$.	$\alpha(h)$.	$+20^\circ$.	$+60^\circ$.	$+70^\circ$.
0.....	— 5	+ 31	+ 58	14.....	— 6	+ 19	+ 21
2.....	+ 2	+ 36	+ 64	16.....	— 6	+ 6	+ 18
4.....	— 5	+ 30	+ 47	18.....	+ 7	+ 2	+ 9
6.....	— 2	+ 32	+ 53	20.....	+ 5	+ 9	— 9
8.....	+ 2	+ 59	+ 95	22.....	+ 1	+ 2	+ 6
10.....	+ 3	+ 55	+ 85	24.....	— 5	+ 31	+ 58
12.....	0	+ 28	+ 38				

L'examen de ce tableau montre que l'accord est meilleur, du point de vue des erreurs systématiques des ascensions droites, avec le N 30 qu'avec le FK 3.

Les déclinaisons du FK 3 ne semblent pas avoir de grosse erreur systématique et nous pouvons comparer nos corrections aux déclinaisons avec les corrections FK 3R-FK 3. On sait que le catalogue FK 3R [20] sert de transition entre le FK 3 et le FK 4 qui doit le remplacer. Ce catalogue ne corrige que les positions individuelles du FK 3, mais non ses erreurs systématiques. A cause de ces erreurs systématiques, la comparaison de nos ascensions droites avec celles du FK 3 R eût été vaine ⁽⁶⁾.

Dans le tableau XXVI, nous reproduisons les corrections aux déclinaisons, d'après l'astrolabe et d'après le FK 3 R, et aussi les corrections Astr.-FK 3 R. L'accord entre l'astrolabe et le FK 3 R est bon, mais

⁽⁶⁾ Après l'achèvement de ce travail, nous avons pris connaissance des résultats des observations photoélectriques entreprises à Poulkovo (P. M. AFANASYEVA, *Bull. Observatoire Central de Poulkovo*, n° 160, 1957, p. 37-61). 36 étoiles de déclinaisons presque toutes comprises entre $+55$ et $+77^\circ$ sont communes avec les nôtres. L'accord individuel est excellent. Mais il subsiste entre les deux systèmes un écart de la forme $\Delta\alpha_x$ assez considérable (voir tableau en annexe, p. 68).

il semble que le FK 3 R ne corrige pas assez les erreurs du FK 3. La moyenne quadratique des corrections Astr.-FK 3 est $0''.18$, elle s'abaisse à $0''.12$ pour les corrections Astr.-FK 3 R.

TABLEAU XXVI.

Comparaison des déclinaisons des catalogues FK 3, FK 3 R et « astrolabe ».
Unité : $0''.01$.

N° FK 3.	Astr.—FK 3.	FK 3 R—FK 3.	Astr.—FK 3 R.
27.....	— 10	— 9	— 1
42.....	+ 16	+ 11	+ 5
1032.....	— 22	— 6	— 16
46.....	— 20	+ 6	— 26
66.....	+ 8	+ 4	+ 4
1068.....	— 4	0	— 4
87.....	— 24	— 9	— 15
89.....	— 7	— 8	+ 1
1089.....	+ 5	+ 8	— 3
1094.....	+ 24	+ 16	+ 8
144.....	+ 4	+ 2	+ 2
174.....	— 12	— 4	— 8
211.....	+ 22	+ 7	+ 15
1173.....	+ 25	+ 7	+ 18
269.....	+ 6	— 3	+ 9
279.....	— 9	— 3	— 6
296.....	0	— 8	+ 8
1239.....	+ 14	+ 1	+ 13
338.....	+ 5	+ 1	+ 4
371.....	— 11	— 5	— 6
403.....	+ 13	+ 3	+ 10
405.....	— 7	— 9	+ 2
422.....	+ 15	+ 1	+ 14
1304.....	+ 20	+ 17	+ 3
1318.....	— 12	— 8	— 4
466.....	— 23	— 20	— 3
472.....	+ 18	— 3	+ 21
550.....	— 4	— 4	— 8
1396.....	+ 34	+ 17	+ 17
1400.....	0	+ 2	— 2
618.....	0	— 7	+ 7
1440.....	— 31	— 26	— 5
1465.....	+ 55	+ 36	+ 19
703.....	— 3	+ 7	— 10
714.....	— 21	— 7	— 14

1515.....	+ 4	+ 8	— 4
1521.....	+ 14	— 1	+ 15
759.....	— 4	— 8	+ 4
1539.....	— 5	+ 6	— 11
809.....	— 21	+ 3	— 24
1575.....	— 18	— 1	— 17
852.....	+ 7	+ 15	— 8
859.....	+ 3	+ 4	— 1
869.....	— 38	— 14	— 24
881.....	— 13	+ 11	— 24
893.....	+ 14	— 9	+ 23

Extension du catalogue d'étoiles « astrolabe ». — Ainsi, après un an d'observations, l'astrolabe a donné les positions de quelques étoiles avec une précision individuelle qui est voisine de celle des meilleurs catalogues fondamentaux et, ce qui est plus important, il semble que ces positions sont exemptes d'erreurs systématiques à l'exception d'une erreur constante en ascension droite et en déclinaison. Ces résultats sont encourageants et nous avons cherché le moyen d'étendre notre catalogue à un beaucoup plus grand nombre d'étoiles. Le principe de cette extension est le suivant.

Des groupes supplémentaires, appelés groupes de catalogue, ont été constitués; ils comprennent essentiellement des deuxièmes passages d'étoiles utilisées une seule fois dans les groupes du programme. Ces groupes supplémentaires seront rattachés aux 12 groupes du programme par l'observation consécutive, par la même personne, d'un groupe de catalogue et d'un groupe du programme. Une dizaine de ces observations est nécessaire pour chaque groupe de catalogue. Cette méthode revient à rattacher les groupes de catalogue au groupe moyen par l'intermédiaire des groupes du programme, les observations bénéficieront de l'amélioration progressive du raccordement. Le rattachement peut se faire sur un deuxième astrolabe. C'est ce que nous ferons à Paris, où nous pourrons utiliser un astrolabe O. P. L. prêté par l'Institut Géographique National. On observera chaque nuit, sur cet astrolabe, un groupe du programme suivi ou précédé par un groupe de catalogue. Cette organisation permettra de constituer en un ou deux ans un catalogue de 300 étoiles environ, du FK 3 et du FK 3 Supp. En outre, le même groupe du programme sera observé simultanément sur les deux instruments et la comparaison des résultats obtenus sera d'un grand intérêt.

L'erreur $\Delta\alpha_x$ du FK 3. — La meilleure façon d'obtenir l'erreur $\Delta\alpha_x$ serait de connaître les ascensions droites d'un grand nombre d'étoiles, mais nous allons montrer que ce n'est pas indispensable et que, si l'on

connaît le raccordement des groupes, cette erreur peut se déduire de la considération des écarts des étoiles à un seul passage.

Considérons une petite aire du ciel. Les étoiles comprises dans cette aire sont observées les unes à l'Est, les autres à l'Ouest. Reprenons la formule (7). Si l'on fait la moyenne des $\Delta\alpha$ pour les n étoiles de l'aire envisagée, $|\sin Z|$ et $\cos S$ peuvent être considérés comme constants et

$$\overline{\Delta\alpha} = \frac{\frac{1}{n}(\Sigma \mathcal{N}_E - \mathcal{N}_W)}{|\sin Z| \cos \varphi} + \frac{\frac{1}{n}(\Sigma \Delta \delta_E - \Sigma \Delta \delta_W)}{|\sin Z| \cos \varphi} \cos S,$$

$\Sigma \mathcal{N}_E$, $\Sigma \mathcal{N}_W$, $\Sigma \Delta \delta_E$ et $\Sigma \Delta \delta_W$ représentent les sommes des résidus et des $\Delta \delta$ des étoiles suivant qu'elles ont été observées à l'Est ou à l'Ouest. Comme les étoiles observées à l'Est et à l'Ouest sont en nombres sensiblement égaux, s'il existe une erreur systématique des déclinaisons, elle affectera très peu $\overline{\Delta\alpha}$ ainsi calculé. Les erreurs individuelles, d'autre part, verront leurs effets atténués par la moyenne. Il faut, toutefois, que le facteur $\frac{\cos S}{\sin Z}$ ne soit pas trop grand. Ce facteur a les valeurs suivantes :

δ .	+ 20°.	21°.	25°.	30°.	40°.	50°.	60°.	70°.	72°.	74°.	75°.
$\frac{ \cos S }{ \sin Z } \dots$	3,0	2,1	1,2	0,8	0,5	0,3	0,0	0,7	1,1	1,7	2,1

Il croît rapidement lorsqu'on s'approche du méridien. Nous ne ferons entrer dans les moyennes que les étoiles pour lesquelles il est inférieur à 2, c'est-à-dire les étoiles de déclinaison comprise entre + 21° et + 75°.

Le nombre total des passages observés n'est que 340. Nous serons conduits à former des aires étendues pour que les moyennes aient un sens. Cela présente un inconvénient, car l'erreur $\overline{\Delta\alpha}$ croît rapidement avec la déclinaison. Comme l'étude des catalogues laisse penser que le produit $\overline{\Delta\alpha} \cos \delta$ est peu variable en fonction de δ , nous avons fait porter les moyennes sur $\Delta\alpha \cos \delta$ pour les déclinaisons supérieures à + 60°.

Remarquons enfin que les étoiles à double passage figureront deux fois. Nous avons conservé leurs deux résidus, ce qui revient à leur donner un poids supérieur à celui des autres étoiles. Ce procédé est arbitraire, mais il tient compte en partie, du fait que, pour ces étoiles, l'erreur résultant de la déclinaison est totalement éliminée. Nous pouvons conserver ces étoiles lorsque les déclinaisons sortent de l'intervalle + 21, + 75°.

Le tableau XXVII donne les valeurs individuelles de $\frac{\mathcal{N} \cos \delta}{\sin Z \cos \varphi}$ et de $\frac{\mathcal{N}}{\sin Z \cos \varphi}$, exprimées en millièmes de seconde d'heure. Les moyennes qui représentent $\overline{\Delta\alpha} \cos \delta$ et $\overline{\Delta\alpha}$ sont données dans le tableau XXVIII, après réduction pour que $\overline{\Delta\alpha}$ soit nul, en moyenne, dans la zone + 20, + 40°.



TABLEAU XXVII (*suite et fin*).

$\alpha (h).$											
11-13.		13-15.		15-17.		17-19.		19-21.		21-23.	
$\delta = + 60^{\circ} \text{ à } + 75^{\circ}.$						$M \frac{\cos \delta}{\sin Z \cos \varphi}.$					
417	+ 1	500	- 4	563	+ 9	639	-18	739	+ 7	803	+ 2
429	- 1	500	- 6	619	- 2	639	-15	739	+16	803	- 1
433	+ 2	550	- 2			664	+14	767	- 3	809	-24
460	+ 9	550	+ 2			670	+ 5	28919	+20	809	-13
472	0	534	- 1			683	+12	783	-12	1372	-12
472	- 9					693	-10			830	- 7
486	+15					714	-11			831	- 4
						714	+ 2			833	+ 5
										863	- 1
										863	+ 1
$\delta = + 40^{\circ} \text{ à } + 60^{\circ}$						$M \frac{\cos \delta}{\sin Z \cos \varphi}.$					
420	-21	1338	+40	533	+ 7	23172	-49	26473	+19	792	- 9
13873	+16	18009	-31	1393	- 8	633	-19	726	+ 4	1368	-24
447	+12	18356	+ 4	1397	- 2	1462	+42	733	-20	811	- 9
456	+ 1	18504	+ 8	1397	- 5	23083	+11	738	+47	30391	+35
458	-26	531	-16	571	+24	23362	0	758	- 7	836	+ 1
1316	-34	540	+11	573	-25	26138	+ 8	28337	+ 5	844	- 8
16985	+20	19742	0	598	+15			782	+ 3	848	-10
467	- 1			608	-29					31998	- 1
				22172	+ 9					869	+ 6
				22398	+41					869	-30
				1434	-16						
				627	-11						
				627	+13						
$\delta = + 21^{\circ} \text{ à } + 40^{\circ},$						$M \frac{\cos \delta}{\sin Z \cos \varphi}.$					
15349	-60	18741	+17	20224	-44	1460	- 1	26369	+17	1363	+ 7
422	-36	522	-11	1396	-52	667	+28	724	+12	30219	+17
422	+33	1370	+26	1396	+27	1468	+ 8	732	-16	1373	+27
16030	+10	534	-18	563	-10	672	- 5	1310	+ 1	1373	- 5
1300	-17	535	- 6	568	- 8	681	- 6	1313	+ 1	823	+25
16031	- 9	1380	-22	572	-24	23003	- 2	1313	+ 9	831	+ 7
16732	+32	1383	-29	576	-22	690	-36	740	+18	1383	-36
16734	+14			578	- 7	1479	+38	1521	-15	852	-18
1318	0			1414	- 2	1488	-10	1521	+ 4	852	-10
1318	-25			593	-10	23934	-38	27677	-33	857	- 7
466	-46			21334	-16	713	- 2	760	-37	859	0
1323	-16			21332	-44			28242	-20	859	+ 6
17223	-15			22020	+ 7			1539	+30		
17223	- 6			618	-10			1539	+ 9		
1332	+12			618	- 9			1549	-73		
				1440	+ 8						
				1440	-67						
				22802	-43						

TABLEAU XXVIII.

$\Delta\alpha$, Astr.-FK 3, pour 1957 (en $0^s,001$).

α (h).	δ .			α (h).	δ .		
	Δz .		$\Delta z \cos \delta$.		Δz .		$\Delta z \cos \delta$.
	20-40°.	40-60°.	60-75°.		20-40°.	40-60°.	60-75°.
0.....	+ 2	+ 19 (*)	+ 24	14.....	— 1	+ 7	— 1
2.....	+ 4	+ 6	+ 21	16.....	— 13	+ 6	+ 5 (*)
4.....	— 5	0	+ 5	18.....	+ 2	+ 3	— 1
6.....	+ 4	— 1	+ 14	20.....	— 1	+ 12	+ 7
8.....	0	+ 29	+ 9 (**)	22.....	+ 6	0	— 2
10.....	+ 6	+ 12	+ 21	24.....	+ 2	+ 19 (*)	+ 24
12.....	— 4	+ 1	+ 3				

(*) Deux résidus. (**) trois résidus.

Aux déclinaisons de $+ 20^\circ$ à $+ 40^\circ$, il n'apparaît pas d'erreur significative du FK 3, à part une irrégularité accusée vers $\alpha = 16$ h.

Aux déclinaisons supérieures, de $+ 40^\circ$ à $+ 60^\circ$, un fait est remarquable : il existe un fuseau étroit d'ascensions droites, vers 8 h où Δz est fortement positif. Cette saillie est significative.

Mais c'est aux déclinaisons de $+ 60^\circ$ à $+ 75^\circ$ que les résultats sont les plus intéressants. L'erreur Δz est considérable dans le FK 3 : les valeurs positives s'étendent de 0 h à 10 h, tandis que Δz de 12 h à 22 h se trouve en accord avec les valeurs pour les étoiles moins boréales. L'amplitude de $\Delta z \cos \delta$ est supérieure à $0^s,020$; alors que les incertitudes du raccordement ne pourraient expliquer qu'une amplitude de $0^s,002$.

Le nombre des étoiles utilisées dans cette détermination de l'erreur Δz_x est trop petit pour que nous puissions prétendre mettre en évidence des erreurs systématiques locales ou régionales. Nous ne pouvons faire apparaître que des torsions générales du système du FK 3. Là encore, il y a beaucoup à attendre des observations de l'A. G. I.

L'erreur $\Delta\delta_x$ du FK 3. — On peut opérer pour les déclinaisons comme pour les ascensions droites, lorsque le raccordement est assuré et que les écarts sont rapportés au groupe moyen. On peut écrire, en effet, $\Delta\alpha$ et $\Delta\delta$ étant pris dans le sens (astrolabe-catalogue) :

$$\Delta\delta = \frac{-\mathcal{N}}{\cos S} - \frac{\sin Z \cos \varphi}{\cos S} \Delta\alpha.$$

Une petite aire du ciel comprendra des étoiles observées à l'Est et à l'Ouest et lorsqu'on fera la moyenne des $\Delta\delta$ de cette aire, les termes en $\Delta\alpha$ se trouveront pratiquement éliminés par suite des changements

élevées est telle qu'elle pourrait introduire des erreurs et nous nous bornerons à appliquer cette formule à la zone de déclinaisons de $+20^{\circ}$ à $+30^{\circ}$, $\frac{\sin Z}{\cos S}$ varie alors, en valeur absolue, de 0,3 à 1,2. Le tableau XXIX donne les valeurs individuelles de $\frac{-\partial \bar{\delta}}{\cos S}$. Les moyennes sont rassemblées dans le tableau XXX, après élimination d'un terme constant. On a reproduit aussi la différence $\Delta \delta_x$ (N 30-FK 3) et l'on en a déduit l'erreur $\Delta \delta_x$ (Astr.-N 30). L'accord est meilleur avec le N 30 qu'avec le FK 3 : la moyenne quadratique des $\overline{\Delta \delta}$ n'est que $0'',036$ au lieu de $0'',053$. On ne discerne pas de période de 24 h dans l'erreur des déclinaisons des deux catalogues.

TABLEAU XXX.

$\Delta \delta_x$ Astr.-FK 3 et Astr.-N 30, pour 1957, déclinaisons de $+20$ à $+30^{\circ}$.
Unité : $0'',01$.

	$x(h)$.													
	0.	2.	4.	6.	8.	10.	12.	14.	16.	18.	20.	22.	24	
Astr.-FK 3...	-9	-5	+4	+11	2	+1	+1	-3	-2	+5	-5	-5	-9	
N 30-FK 3...	-9	+1	+3	+6	0	+1	0	-3	+3	-1	-1	+1	-9	
Astr.-N 30...	0	-6	+1	+5	+2	0	+1	0	-1	+6	-4	-6	0	

ANNEXE.

Comparaison des ascensions droites des catalogues : Φ 2, FK 3 et Astrolabe.
(Unité : $0'',001$).

N° FK 3.	α .	δ .	Φ 2-FK 3.	Ast.-FK 3.	Φ 2-Ast.
16.....	$0^h 31^m$	$+63^{\circ}$	+ 61	+ 49	+ 12
32.....	0 54	60	+ 57	+ 50	+ 7
63.....	1 51	63	+ 72	+ 39	+ 33
122.....	3 26	60	+ 16	- 13	+ 29
173.....	4 44	57	+ 4	- 12	+ 16
182.....	5 00	60	+ 16	- 15	+ 31
211.....	5 35	21	0	- 11	+ 11
1137.....	5 51	56	+ 24	+ 19	+ 5
237.....	6 16	59	+ 29	+ 11	+ 18
292.....	7 39	59	+ 55	+ 48	+ 7
317.....	8 27	61	+ 32	+ 21	+ 11
353.....	9 28	63	+ 42	+ 42	0
398.....	10 32	57	+ 17	+ 4	+ 13
422.....	11 12	21	- 7	- 1	- 6
447.....	11 52	54	+ 5	+ 13	- 8

456.....	12 13	57	0	+	1	— 1		
472.....	12 31	70	— 31	—	13	— 18		
500.....	13 27	60	— 14	—	10	— 4		
530.....	14 51	74	— 43		0	— 43		
571.....	15 24	59	— 9	+	25	— 34		
598.....	16 01	59	+	3	+	15	— 12	
618.....	16 28	22	— 5	—	10	+	5	
627.....	16 44	57	+	4	+	1	+	3
639.....	17 08	66	— 36	—	39	+	3	
683.....	18 14	64	+	16	+	29	—	13
758.....	20 12	56	— 15	—	7	—	8	
767.....	20 29	63	— 4	—	7	+	3	
1539.....	20 37	21	+	22	+	20	+	2
783.....	20 44	62	— 20	—	25	+	5	
803.....	21 18	62	+	11	+	2	+	9
809.....	21 28	70	— 42	—	56	+	14	
836.....	22 09	58	— 10	+	1	—	11	
863.....	22 48	66	+	15	—	1	+	14
869.....	23 00	42	+	2	—	12	+	14
893.....	23 38	77	+	121	+	112	+	9
899.....	23 52	57	+	5	+	6	—	1

CONCLUSION.

Le rôle fondamental de l'astrolabe impersonnel est la mesure de l'heure et de la latitude. Le programme d'observations a été établi avec la souci d'affranchir les résultats des erreurs dues au catalogue d'étoiles.

La méthode d'observations en chaîne que nous avons utilisée a été parfois critiquée. Appliquée à l'origine aux observations du Service International des Latitudes, elle a été ensuite abandonnée parce qu'on lui reprochait de laisser apparaître des équations de fermeture qui n'ont pas d'explication simple et dont la répartition est arbitraire. Mais la cause de ces équations de fermeture ne peut-elle être d'origine instrumentale ? A cet égard, des mesures faites avec un instrument d'un type nouveau doivent être instructives et, à elle seule, l'étude de l'équation de fermeture justifierait les observations en chaîne. Il faut d'ailleurs considérer que cette méthode permet l'élimination des erreurs du catalogue. Ces erreurs ont une influence sur les résultats qui est bien plus grande que celle des erreurs dues au raccordement des groupes. C'est, d'autre part, la seule méthode qui puisse être utilisée dans un observatoire qui détermine isolément la latitude et l'heure.

L'utilisation de l'astrolabe ne s'arrête pas là. N'attachons pas trop

d'importance à la mesure de la constante de l'aberration, la méthode utilisée a donné trop souvent des résultats décevants. Les principaux résultats obtenus se rapportent à l'amélioration des catalogues d'étoiles : correction des erreurs systématiques et de quelques positions individuelles. Sans effectuer d'observations spéciales, chaque usager d'un astrolabe pourra contribuer à l'élimination des erreurs systématiques; il se constituera en outre, un lissage du catalogue portant sur un nombre d'étoiles petit, mais dont la valeur sera très grande, tant en position qu'en mouvement propre.

La qualité des positions des étoiles obtenues avec l'astrolabe justifie qu'un appareil soit soustrait à son travail de routine et soit consacré uniquement à des recherches sur les catalogues. La tâche est grandement facilitée si deux astrolabes peuvent travailler conjointement au voisinage l'un de l'autre, l'un poursuivant des mesures de temps et de latitude, l'autre étant consacré aux recherches. Dans l'hémisphère austral, notamment, où les positions des étoiles sont souvent mal connues, quelques années de travail dans une station bien choisie devraient apporter des résultats précieux.

Signalons enfin, qu'une longue période d'observations permettra de mesurer la constante de la nutation avec une approximation satisfaisante.

L'observation de hauteurs égales constitue une méthode d'investigation puissante et grâce aux qualités de l'astrolabe impersonnel de M. Danjon, elle est appelée à prendre une place de premier ordre dans l'astronomie de position.

REMERCIEMENTS.

J'exprime ma profonde reconnaissance à l'égard de M. A. Danjon, qui m'a associé aux dernières mises au point de son Astrolabe Impersonnel, puis m'a laissé organiser les observations et leurs réductions. Les conseils de M. Danjon et l'intérêt qu'il a porté aux recherches que j'ai entreprises, à propos des catalogues d'étoiles notamment, m'ont constamment aidé et encouragé.

J'adresse aussi mes remerciements à M. L. Arbey, Astronome-Adjoint à l'Observatoire de Paris, qui a assuré, en alternance avec moi, le service régulier d'observations. Les résultats de ce travail n'auraient pu être obtenus si M. Arbey n'avait pas mis tout son soin à assurer le raccordement par l'observation de groupes d'étoiles supplémentaires, hors programme.

Il me reste à remercier mes autres collaborateurs : M. Billaud, de l'Observatoire d'Alger, M^{lles} Débarbat et Libralon, qui ont participé aux observations; M. Bonneau, à qui nous devons la mise en évidence d'un effet personnel; M^{lles} Loew, Roger et Fiel, qui ont réduit les observations et exécuté de nombreux calculs.

Au moment de remettre le « bon à tirer », j'apprécie la qualité du travail de l'Imprimerie Gauthier-Villars et l'aide de M. Brisse, secrétaire de la rédaction du *Bulletin Astronomique*, pour présenter ce Mémoire. Qu'ils veuillent trouver ici l'expression de ma gratitude.

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] A. CLAUDE et L. DRIENCOURT, *La méthode des hauteurs égales en astronomie de position* (*Rev. gén. Sc.*, 1905, p. 972).
- [2] A. CLAUDE et L. DRIENCOURT, *L'instrument des hauteurs égales en astronomie de position* (*Rev. gén. Sc.*, 1905, p. 1071).
- [3] A. CLAUDE et L. DRIENCOURT, *Description et usage de l'astrolabe à prisme*, 1 vol., Gauthier-Villars, Paris, 1910.
- [4] A. DANJON, *L'astrolabe impersonnel de l'Observatoire de Paris* (*Bull. Astron.*, t. 18, 1954, p. 251 à 281).
- [5] A. DANJON, *Sur un nouveau type d'astrolabe impersonnel* (*C. R. Acad. Sc.*, t. 227, 1948, p. 320).
- [6] DUHAMEL, *Déterminations astronomiques en campagne*, Inst. Géog. Nat., Paris, 1949.
- [7] B. GUINOT, *Astrolabe impersonnel. Réductions. Résultats* (*Bull. Astron.*, t. 18, 1954, p. 282).
- [8] A. DANJON, *L'astrolabe impersonnel modèle O. P. L.* (*Bull. Astr.*, t. 21, 1958, p. 323).
- [9] *Instruction Manual, longitude and latitude*, Publications Committee of C.S.A.G.I., London, 1956.
Voir aussi : *Annals of the International Geophysical Year*, vol. 4, 1957, p. 151 à 154).
- [10] E. W. WOOLARD, *Theory of the rotation of the earth around its center of mass* (*Astronomical Papers of the American Ephemeris*, vol. 15, Part I, 1953).
- [11] *Trans. U. A. I.*, vol. 7, 1950, p. 75.
- [12] J. G. PORTER et D. H. SADLER, *Monthly Notices R. A. S.*, t. 110, 1950, p. 467.
- [13] L. F. JENKINS, *General catalog of trigonometric stellar parallaxes*, Yale University Observatory, 1952.
- [14] B. GUINOT, *Détermination des erreurs systématiques des ascensions droites en fonction de la déclinaison dans les catalogues d'étoiles FK 3 et N 30* (*Bull. Astr.*, t. 20, 1956, p. 119 à 130).
- [15] J. JACKSON, *A new determination of the constant of nutation* (*Monthly Notices R. A. S.*, t. 90, 1930, p. 733).
- [16] H. S. JONES, *The determination of the constant of nutation from the Greenwich latitude variation observations* (*Monthly Notices R.A.S.*, t. 98, 1938, p. 440).
- [17] P. MELCHIOR, *Déplacements séculaires du pôle moyen et catalogues d'étoiles* (*Comm. Obs. Royal de Belgique*, t. 79, 1955, p. 3 à 19).
- [18] H. R. MORGAN, *Catalog of 5268 standard stars, 1950,0 based on the normal system N 30* (*Astronomical Papers of the Amer. Eph.*, vol. 13, Part III, 1952).
- [19] H. NOWACKI, *Vergleich des FK 3 mit dem Normalkatalog N 30 von H. R. Morgan* (*Nachrichtenblatt des Astron. Zentralstelle*, n° 6, 1953, p. 21 à 24).
- [20] *Individuelle Verbesserungen des FK 3, nördlich von — 30° Deklination* (*Ver. des Astron. Rechen-Institut Heidelberg*, n° 6, 1957).

(Manuscrit reçu le 25 février 1958).



SECONDE THÈSE



PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Étude de la constante de l'aberration.

Vu et approuvé :

Paris, le 29 avril 1958.

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES,

Joseph PÉRÈS

Vu et permis d'imprimer :

LE RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,

Jean SARRAILH



PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS

Quai des Grands-Augustins, 55.

153895-58

Dépôt légal, Imprimeur, n° 1303.

Imprimé en France

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS

Quai des Grands-Augustins, 55.

153895-58

Imprimé en France.